

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR
(Mention : Sciences)

PAR

ALEXANDRE BERTRAND

INGÉNIEUR DIPLOMÉ DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ

1^{re} THÈSE

UTILISATION DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'ÉNERGIE
ÉLECTRIQUE EN CHRONOMÉTRIE.

2^e THÈSE

APPLICATIONS DE L'ÉTUDE GÉNÉRALE
DES MOUVEMENTS OSCILLATOIRES AMORTIS.

Soutenues le 3 Juillet 1934, devant la Commission d'Examen.

Jury	{	MM. A. COTTON,	<i>Président.</i>
		A. GUILLET,	{ <i>Examineurs.</i>
		J. VILLEY,	



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551416_0060

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR
(Mention : Sciences)

PAR

ALEXANDRE BERTRAND

INGÉNIEUR DIPLOMÉ DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ



1^{re} THÈSE

UTILISATION DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'ÉNERGIE
ÉLECTRIQUE EN CHRONOMÉTRIE.

2^e THÈSE

APPLICATIONS DE L'ÉTUDE GÉNÉRALE
DES MOUVEMENTS OSCILLATOIRES AMORTIS.

Soutenues le 2 Juillet 1934, devant la Commission d'Examen.



Jury	{	MM. A. COTTON,	{	Président.
		A. GUILLET,		Examineurs.
		J. VILLEY,		

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen honoraire M. MOLLIARD.
Doyen C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.

<i>Professeurs honoraires</i>	{	H. LE CHATELIER.	LÉON BRILLOUIN.
		H. LEBESGUE.	GOURSAT.
		A. FERNBACH.	WALLERANT.
		A. LEDUC.	GUILLET.
		Emile PICARD	PECHARD.
		Rémy PERRIER.	FREUNDLER.

PROFESSEURS

P. JANET T	Electrotechnique générale.	G. BRUHAT	Physique.
R. BERTRAND ..	T Chimie biologique.	E. DARMOIS ..	Physique.
^{me} P. CURIE. T	Physique générale.	A. DEBIERNE ..	Radioactivité.
I. CAULLERY ..	T Zoologie (Evolution des êtres organisés).	A. DUFOUR T	Physique (P. C. N.).
R. URBAIN	T Chimie générale.	L. DUNOYER ..	Optique appliquée.
Emile BOREL ..	T Calcul des probabilités et Physique mathém.	A. GUILLIERMOND T	Botanique (P. C. N.).
R. MARCHIS ..	T Aviation.	M. JAVILLIER ..	Chimie biologique.
ean PERRIN ..	T Chimie physique.	L. JOLEAUD	Paléontologie.
I. ABRAHAM	T Physique.	ROBERT-LÉVY ..	Zoologie.
C. CARTAN	T Géométrie supérieure.	H. MOUTON	Chimie physique.
I. MOLLIARD ..	T Physiologie végétale.	F. PICARD	Zoologie (Evolution des êtres organisés).
R. LAPICQUE	T Physiologie générale.	Henri VILLAT .. T	Mécanique des fluides et applications.
C. VESSIOT	T Théorie des fonctions et théorie des transformations.	Ch. JACOB T	Géologie.
COTTON	T Physique.	P. PASCAL T	Chimie minérale.
R. DRACH	T Analyse supérieure.	M. FRÉCHET .. T	Calcul des Probabilités et Physique mathématique.
Charles FABRY.	T Physique.	E. ESCLANGON.. T	Astronomie.
Charles PÉREZ..	T Zoologie.	^{me} RAMART-LUCAS	Chimie organique.
Léon BERTRAND.	T Géologie structurale et géologie appliquée.	H. BÉGHIN T	Mécanique physique et expérimentale.
R. BLAISE	T Chimie organique.	FOCH	Mécanique expérimentale des fluides.
R. LESPIEAU ..	T Théories chimiques.	PAUTHENIER ..	Physique (P. C. N.).
P. PORTIER	T Physiologie comparée.	De BROGLIE .. T	Théories physiques.
R. RABAUD	T Biologie expérimentale.	CHRÉTIEN	Optique appliquée.
R.-A. DANGEARD.	T Botanique.	P. JOB	Chimie générale.
R. AUGER	T Chimie appliquée.	LABROUSTE	Physique du Globe.
R. GUICHARD ..	Chimie minérale.	PRENANT	Zoologie.
Paul MONTEL ..	T Mécanique rationnelle.	VILLEY	Mécanique physique et expérimentale.
R. WINTREBERT.	T Anatomie et histologie comparée.	BOHN	Zoologie (P. C. N.).
R. BLARINGHEM.	T Botanique.	COMBES	Sciences naturelles (P.C.N.).
R. DUBOSCQ ..	T Biologie maritime.	GARNIER	Mécanique rationnelle.
R. JULIA	T Mécanique analytique.	PÉRÉS	Mécanique des fluides.
R. MAUGUIN ..	T Minéralogie.	HACKSPILL	Chimie (P. C. N.).
R. MICHEL-LÉVY.	Pétrographie.	LAUGIER	Physiologie générale.
R. BÉNARD	T Mécanique expérimentale des fluides.	TOUSSAINT	Technique Aéronautique.
R. DENJOY	T Calcul différentiel et calcul intégral.	M. CURIE	Physique (P. C. N.).
R. LUTAUD	T Géographie physique et géologie dynamique.	G. RIRAUD T	Hautes températures.
Eugène BLOCH.	T Physique théorique et physique céleste.	CHAZY.	Mathématiques.
		GAULT	Chimie (P. C. N.).
		CROZE.	Physique.
		DUPONT	Chimie (P. C. N.).

Secrétaire A. PACAUD.

Secrétaire honoraire D. TOMBECK.

A LA MÉMOIRE
DE JEAN-ANDRÉ LE PAUTE
1720 - 1789

et de

Mon Oncle
PAUL APPELL
Membre de l'Institut
Recteur Honoraire de l'Académie de Paris

Témoignage de profonde reconnaissance

A MES MAITRES

AUX MIENS

A MES AMIS

UTILISATION DES RÉSEAUX
DE
DISTRIBUTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE
EN CHRONOMÉTRIE

.....

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	43
DIVISION du TRAVAIL	45
CHAPITRE PREMIER	
HISTORIQUE	47
CHAPITRE II	
ALIMENTATION par RÉSEAU des MOUVEMENTS MÉCANIQUES à REMONTAGE par MOTEUR d'INDUCTION ..	49
CHAPITRE III	
UTILISATION des RÉSEAUX de DISTRIBUTION pour la REMISE à l'HEURE des HORLOGES ÉLECTRO-MÉCANIQUES.	31
Position actuelle de la question sur la production et la réception des courants de commande à distance pour remise à l'heure.. .. .	36
Essais comparés des divers relais	43
CHAPITRE IV	
APPAREILS de CONTROLE de FRÉQUENCE. MOTEURS SYNCHRONES.	54
CHAPITRE V	
PSEUDO-SYNCHRONISATION des BALANCIERS CIRCULAIRES des CHRONOMÈTRES	65
Aperçu théorique	70
CONCLUSION	77
BIBLIOGRAPHIE	79

INTRODUCTION

Au cours des siècles les hommes se sont efforcés de mesurer, avec une précision croissante, la durée d'événements variés, sociaux, historiques, scientifiques.

La considération du phénomène de mouvement a imposé, en les associant, les notions d'espace et de temps. A la possibilité, pour un corps, d'occuper de multiples positions, on a rattaché la notion d'espace et, au fait que les positions envisagées sont successives, on a rattaché la notion de temps.

Partant des lois d'AMPÈRE et de FARADAY, condensées dans les équations de MAXWELL, on est parvenu, récemment, à la notion relativiste d'espace-temps. Mais comme ces travaux d'analyses mathématiques ont été sans importance sur l'évolution de la chronométrie, qui seule nous intéresse ici, nous nous bornerons à en signaler l'existence.

L'unité de temps: seconde sidérale, tirée du mouvement diurne; seconde sexagésimale de temps moyen, tirée du mouvement fictif du soleil moyen, est fournie par les astronomes; mais depuis longtemps, dans la pratique courante, on a choisi, comme étalon de temps auxiliaire, *la période d'un vibreur*, monté de façon que son mouvement soit répété indéfiniment dans des conditions invariables.

On a d'abord adopté comme vibreur le pendule et le spiral, dont on a rendu le mouvement permanent sans perturbation par emprunt d'énergie soit à la chute lente et progressive d'un poids, soit à la détente d'un ressort, un remontage convenablement renouvelé assurant une marche ininterrompue. Et, dans ce domaine, que de belles et patientes études seraient à examiner, que d'habiles et ingénieuses réalisations seraient à analyser, que de belles théories des Maîtres de la mécanique seraient à rappeler. Mais là n'est pas notre but.

La chronométrie a subi, comme tant d'autres sciences, la profonde influence de la rapide évolution des applications de l'énergie électrique.

Le peu d'énergie nécessaire à l'entretien du mouvement de la plupart des vibrateurs a permis de réaliser bien des solutions pratiques nouvelles concernant cet entretien, en partant d'éléments de piles ou d'accumulateurs utilisés comme source d'énergie (*).

Mais il y a plus, le développement du courant alternatif comme élément de « distribution d'éclairage et de force motrice » est venu transformer complètement le point de vue auquel s'était d'abord placée l'industrie horlogère, au moins en ce qui concerne les besoins courants, et ce que l'on pourrait appeler « la distribution massive de l'heure ».

En effet, un alternateur d'une construction parfaite, fonctionnant à vitesse invariable, est dépositaire d'une fréquence bien définie, qu'il est facile de distribuer à volonté, par moteurs synchrones.

Ce sont les solutions de ces derniers problèmes qui font l'objet principal du présent travail.

Je remercie ici, très sincèrement, tous mes Maîtres de la Faculté des Sciences et de l'Ecole Supérieure d'Electricité, pour les enseignements que j'en ai reçus, et les entretiens si suggestifs qu'ils ont bien voulu m'accorder.

Je remercie également mes collaborateurs, dont la bonne volonté constante et les connaissances respectives ont grandement facilité ma tâche.

(*) Voir bibliographie, n^{os} 1-2.

DIVISION DU TRAVAIL

Nous avons divisé ce travail en cinq parties :

Le chapitre I^{er} comprend un court historique de l'électrochronométrie et un exposé des raisons qui ont conduit à l'emploi des réseaux de distribution d'énergie pour résoudre certains problèmes.

Dans le deuxième chapitre, on trouvera les conditions d'utilisation des réseaux pour le remontage des mouvements d'horloges mécaniques devant posséder une réserve d'énergie en cas d'interruption de courant.

Le troisième chapitre a trait aux conditions dans lesquelles un réseau de distribution peut servir lui-même à la remise à l'heure des mouvements répartis aux divers points de ce réseau, sans avoir à installer de canalisation supplémentaire.

Le quatrième chapitre porte sur les caractéristiques nouvelles (fréquence stabilisée), présentées par certains réseaux, qui permettent de les utiliser non seulement comme sources d'énergie, mais aussi à la distribution de l'heure, au moyen d'horloges constituées par des moteurs synchrones.

Enfin, le cinquième et dernier chapitre est relatif à une étude de la synchronisation entre eux des échappements des chronomètres permettant d'utiliser des appareils possédant une réserve d'énergie en cas d'interruption de courant, et offrant néanmoins les principaux avantages des horloges à moteurs synchrones.

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

L'application de l'électricité à la chronométrie est déjà ancienne. Dès 1840, BAIN construisit une horloge dont le mouvement était entretenu par action électro-magnétique.

Depuis cette époque, et jusqu'à ces dernières années, il semble que toutes les études intéressantes, dans ce domaine, ont toujours porté sur l'emploi d'un dispositif électro-magnétique, mettant en jeu des contacts et utilisant comme source d'énergie des batteries de piles ou d'accumulateurs.

L'utilisation, comme source d'énergie, des réseaux de distribution d'électricité ne paraît pas, à priori, présenter de difficultés pour ces horloges, qu'elles soient à réaction indirecte, comme celles décrites par BREGUET dès 1850, ou à réaction directe, comme celles basées sur le principe décrit par FOUCAULT (étudiées et réalisées par CORNU) et dont on trouve actuellement de nombreuses applications, depuis les travaux de LIPPMANN, GUILLET, FERY (*).

Récemment il a été indiqué à la Société Française de Chronométrie (**) comment on pourrait procéder, pour alimenter des horloges électro-magnétiques par les secteurs de distribution, sans qu'il soit nécessaire de modifier leurs organes.

Mais, pratiquement, cette source d'énergie n'a été employée jusqu'à ces dernières années que pour les horloges « d'édifices », dans lesquelles les quantités d'énergie en jeu sont relativement importantes.

(*) Voir bibliographie, n° 3.

(**) Voir bibliographie, n° 4.

Il nous est apparu, cependant, que l'emploi généralisé des réseaux de distribution d'électricité, en électro-chronométrie, devrait permettre un nouveau et important développement à de cette branche de l'électro-technique.

Toutefois, une étude approfondie de l'alimentation des horloges électro-magnétiques, précédemment citées, par les secteurs de distribution, nous a semblé sans grand intérêt, tous ces appareils étant munis de contacts électriques, dont l'existence même a été une des causes du retard apporté au développement de cette branche de l'électro-technique.

Nous étudierons seulement, dans ce travail, les types d'appareils dans lesquels il n'est fait usage d'aucun contact électrique, et qui utilisent comme source d'énergie les seuls réseaux de distribution à courant alternatif, ce qui correspond à la grande majorité des cas.

Examinons maintenant le rôle joué par les réseaux de distribution suivant le type d'appareil choisi.

CHAPITRE II

ALIMENTATION PAR RESEAU DES MOUVEMENTS MECANIQUES A REMONTAGE PAR MOTEUR D'INDUCTION (*)

Ayant pu constater dans la pratique industrielle les inconvénients des horloges munies de contacts et entretenues par piles ou accumulateurs, nous avons estimé que l'horlogerie électrique n'entrerait vraiment dans la pratique courante que si l'on arrivait à mettre à la disposition de chacun des appareils d'une technique très simple et d'un fonctionnement aussi sûr que celui des mouvements d'horlogerie mécanique généralement employés jusqu'ici.

Car il faut bien reconnaître que, si des perfectionnements de détails ont été apportés dans la construction de ces horloges domestiques, le principe de ces appareils est resté le même que celui des horloges réalisées par les grands artistes du XVIII^e siècle, les BERTHOUD, LEROY, GRAHAM, LEPAUTE, BREGUET, etc..., dont de nombreux spécimens fonctionnent encore actuellement dans des conditions entièrement satisfaisantes.

Or, que peut-on reprocher à ces horloges mécaniques qui fonctionnent avec tant de sécurité depuis si longtemps?

Le remontage manuel apparaît comme l'un des principaux inconvénients, puis le manque de concordance absolue des heures indiquées par les divers appareils.

Pour obvier au premier inconvénient nous avons cherché à garder l'essentiel des appareils qui avaient fait leurs preuves depuis plus de deux siècles et à remplacer seulement les dispositifs de remontage manuel par un dispositif de remontage automatique.

Cette idée n'est du reste pas nouvelle et de nombreuses solutions ont déjà été proposées dans cette voie; mais il apparaît

(*) Voir bibliographie, n° 7.

que la complication du dispositif de remontage automatique et ses risques de dérangements étaient, dans la généralité des cas, beaucoup plus grands que l'inconvénient du remontage à main (*).

Tous ces dispositifs comportent une source d'énergie spéciale et des contacts fermant, à un instant déterminé, le circuit local destiné à l'alimentation des moteurs de remontage (électro-aimant ou moteur rotatif).

Dans le dispositif que nous avons étudié, nous avons voulu, d'une part utiliser la source d'énergie des réseaux de distribution d'éclairage ou de force motrice, que l'on trouve maintenant presque partout, d'autre part n'introduire aucun contact électrique pour le déclenchement de ce remontage; c'est pourquoi nous avons été amenés à utiliser le type de moteur

généralement employé dans les compteurs d'énergie à courant alternatif, et dont plusieurs millions d'exemplaires sont en service à la satisfaction générale.

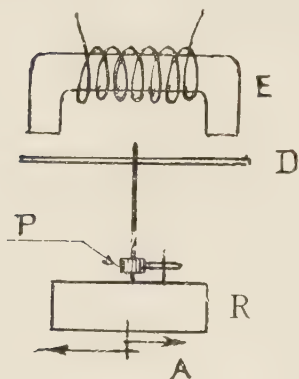


Fig. 1

Le principe de cet appareil est le suivant (fig. 1) :

Un disque (D) de cuivre est commandé par un électro (E) à noyau feuilleté, parcouru par le courant du réseau (110 ou 220 volts, 50 périodes). Ce disque, en tournant, remonte au moyen d'un pignon (P) un rouage d'horlogerie mécanique (R) muni d'un

échappement à balancier circulaire et à minuterie qui actionne les aiguilles (A).

C'est pour la première fois en 1909 que BATAULT réalisait un système de remontage électrique, pour horloge de commutation, avec moteur à disque de cuivre du genre de celui qu'ELIHC-THOMSON avait utilisé dès 1884 (**).

THOMSON avait en effet montré qu'il était possible de produire des forces, et par suite de réaliser des moteurs, avec des appareils dont le circuit mobile (anneau) est fermé sur lui-même; ce circuit ne reçoit pas de courant de l'extérieur, et tous les contacts intermédiaires se trouvent ainsi évités.

(*) Voir bibliographie n° 8.

(**) Voir bibliographie, n° 9.

L'explication du fonctionnement de tels systèmes est classique et peut se résumer ainsi:

Soit une bobine c (fig. 2), excitée par un courant alternatif i et un anneau de cuivre c' soit $i = i_0 \sin \omega t$, le courant de la bobine.

La force électro-motrice induite dans l'anneau est $e' = -M \frac{di}{dt}$, M étant le coefficient d'induction mutuelle, ici positif, le sens positif choisi étant le même pour c , c' ; ainsi:

$$e' = -M i_0 \omega \cos \omega t$$

La force électro-motrice e' est donc en quadrature retard avec le courant i , on a:

$$e' = M i_0 \omega \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \pi \right)$$

Le courant i est donné par une équation de la forme classique:

$$L \frac{di'}{dt} + ri' = M i_0 \omega \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \pi \right)$$

On sait que cette équation admet comme solution i' un courant sinusoïdal en retard de φ sur la force électro-motrice où φ est déterminé par l'équation:

$$\text{Tang } \varphi = \frac{L \omega}{r}$$

Comme l'anneau a une résistance très faible, nous pourrions la supposer nulle dans un calcul approché, alors:

$$\text{Tang } \varphi = \infty \text{ et par suite } \varphi = \frac{\pi}{2}$$

en sorte que la phase du courant i' est $\omega t + \pi$.

En définitive, on a: $i = i_0 \sin \omega t$ et $i' = i'_0 (\sin \omega t + \pi)$.

Le courant i' est en opposition de phase avec i , ces deux courants sont dans notre hypothèse, $r = 0$, toujours de sens contraire, donc ils se repoussent. L'anneau est donc repoussé, et cet anneau est sans connexion aucune avec l'extérieur, si ce n'est celle provenant des variations du champ magnétique dans lequel il est immergé. Evidemment, le travail que reçoit l'anneau est fourni par l'alternateur, qui alimente la bobine primaire; il en est de même pour la chaleur provenant de l'effet Joule.

FIGURE 2

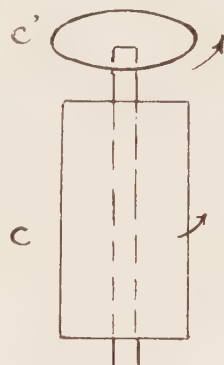


Fig. 2.

Pour un tour de la bonde, la roue 12 fait 1 tour en 8 h. 8, et étant donné le rapport des roues 1, 2, 3, 4, le plateau du mobile 1 fait 5.700 t. et fera $5.700 \times \frac{24}{8,8}$ tours par jour.

En admettant que le mobile 1 tourne à la vitesse de 2 tours-seconde, soit 7.200 t. par heure, la durée de remontage est égale à $5.700 \times \frac{24}{8,8} = 2 \text{ h. } 10 \text{ m.}$

Le roulant actionnant l'échappement est composé de 4 mobiles, la longue tige 6 faisant un tour en 1 heure et conduisant la minuterie, la came 19 pour la remise à l'heure est solidaire de la chaussée folle sur l'arbre et entraînée par un ressort 17, les mobiles intermédiaires 7-8 et l'échappement 9, le pignon 6 engrène avec la roue de barillet 16 et le rapport de vitesse totale est de 5.280.

Le ressort peut développer 5 tours.

La durée du fonctionnement, le ressort étant armé, est de: $8 \text{ h. } 8 \times 5 = 44 \text{ heures.}$

Dispositif d'arrêt automatique du remontage

L'axe de la bonde est fileté au pas de 1 mm.; sur ce filetage peut tourner un écrou 13 solidaire du barillet.

Comme le remontage s'effectue plus rapidement que le barillet ne tourne, il s'ensuit que l'écrou se déplace sur la vis et fait basculer le levier 14 qui amène le bec 15 en contact avec le disque 11 et, de ce fait, la rotation s'arrête. A partir de ce moment, seul l'écrou entraîné par le barillet tournera et libérera à nouveau le disque 11. Le remontage s'effectuera à nouveau.

Dans le dispositif de moteur utilisé, le « couple-moteur » du disque de remontage est proportionnel au carré de la valeur de la tension d'alimentation de la bobine (voir théorie élémentaire des compteurs à induction, notice spéciale de la Compagnie de Constructions électriques, octobre 1933).

Dans le cas particulier qui nous intéresse, le moteur assurant le remontage du ressort de l'horloge est constitué par un faisceau magnétique F, de tôles au silicium. Ce faisceau est muni de 4 pôles formant avec une plaque de fermeture de champ P un entrefer dans lequel tourne un disque D en cuivre

dont l'axe est muni d'un pignon engrenant avec une roue dentée.

Un enroulement B de fil fin dont les spires sont isolées au coton imprégné d'un vernis bakélinisé est soumis à la tension du réseau; d'autre part, deux enroulements en court-circuit c et c' sont placés sur deux des pôles du faisceau.

Le courant I, traversant les enroulements c et c' sous l'action des forces électromotrices induites par le flux de B, produit un flux Φ qui se ferme en partie entre les pôles voisins au travers du disque (trait pointillé). Ce flux s'ajoute au flux Φ ou se retranche de ce flux, pour donner finalement deux flux résultant Φ_{R_1} , Φ_{R_2} déphasés de α . En se reportant à la théorie du compteur à disque que nous avons rappelée précédemment, on voit que le couple moteur appliqué dans ce cas au disque est proportionnel à la valeur absolue de Φ_{R_1} et Φ_{R_2} (fig. 4).

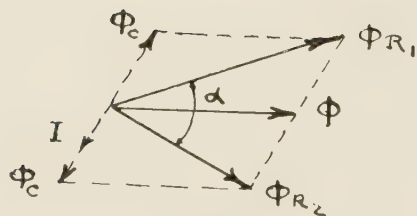
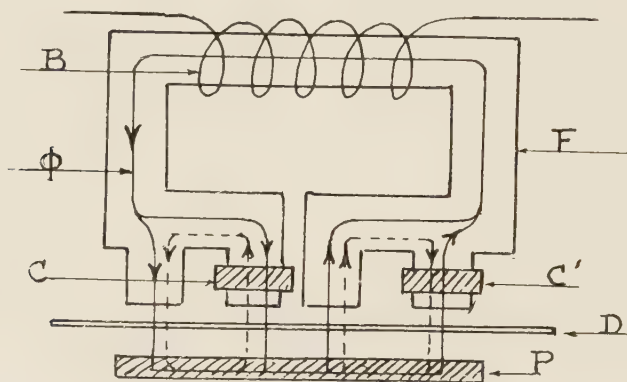


Fig. 4

D'autre part, les flux étant proportionnels à V tension du réseau, en supposant la perméabilité constante, *le couple est proportionnel* à V^2 . Le couple obtenu dans ces conditions est de 10 gr./cm. pour une puissance absorbée de 2 watts; les tôles sont en silicium d'une épaisseur de 5/10 mm.; le disque est en cuivre électrolytique, il a un diamètre de 80 mm. et une épaisseur de 12/10 de mm.; la bobine B comporte 3.000 tours de fil émail 20/100 avec un isolement au coton bakélinisé; les enroulements c et c' sont constitués par des bagues en cuivre massif d'épaisseur 3 mm.

Le couple nécessaire pour bander complètement le ressort du barillet mesuré sur l'axe du disque est de 1,5 gramme-centimètre.

La marge de sécurité est donc grande, puisque la tension peut descendre à 75 volts, sans qu'il y ait risque d'insuffisance de remontage.

En éliminant la réaction du ressort, soit en laissant le barillet complètement débandé, le couple mesuré sur l'axe du disque nécessaire pour vaincre les frottements est de 1,2 gr.-cm. environ. Valeur relativement élevée, qui est due au poids important de l'équipage mobile.

On a pu ensuite remplacer le disque de cuivre par un disque en aluminium de même épaisseur, tout en réduisant l'entrefer de 3 à 2,6 mm.

Le couple perdu, du fait de la plus grande résistance de l'aluminium, a été en partie récupéré par la diminution de l'entrefer.

D'autre part, la réduction des frottements, et par suite de l'usure des pivots, est dans ce cas appréciable.

Voici quelques observations sur la consommation pour des bobines comportant 5.000 tours (consommation qui varie suivant la loi du carré du voltage):

A 110 volts,	la consommation est de	1 watt 5;
A 130	— — —	2 watts 1;
A 80	— — —	0,8 watt.

On voit ainsi que quand le rapport de tension $\frac{130}{110} = 1,181$
le rapport des consommations $\frac{2,1}{1,5} = 1,4$ qui correspond au

carré de 1,181 (rapport des tensions), ce qui vérifie bien la loi indiquée.

La limite maximum que l'on ne doit pas dépasser, sans crainte d'accident, correspond à une consommation de 3 watts. Ci-joint une courbe des consommations de l'appareil, suivant différents voltages et pour des périodes de courant de 40, 50 et 60 périodes par seconde, et pour des bobines de 3.000 tours (fig. 5).

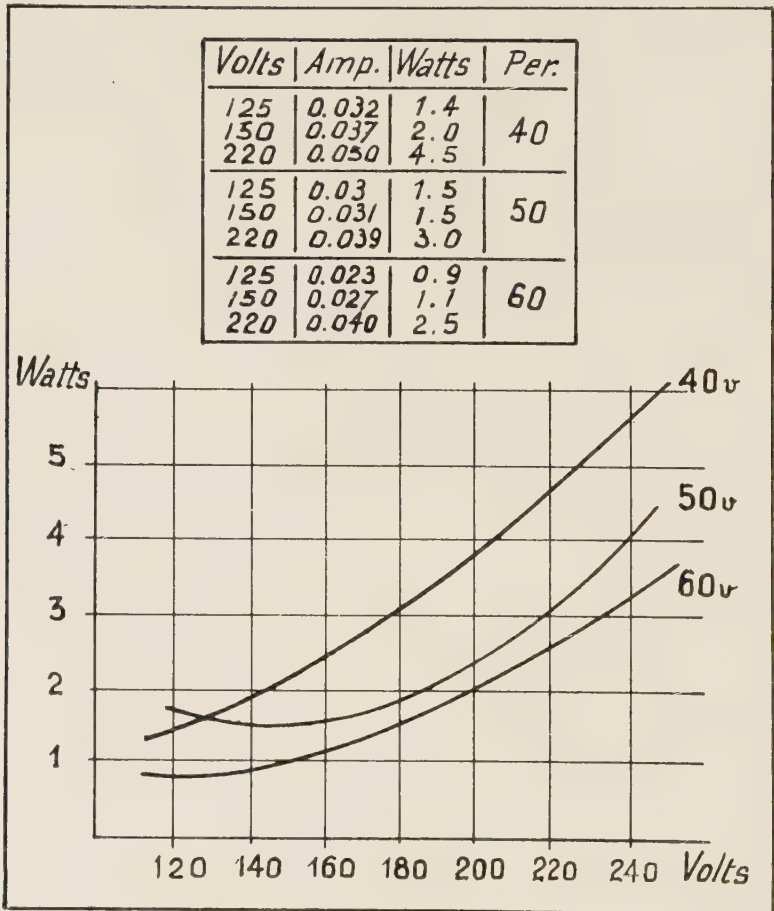


Fig. 5

Avec un appareil à rouage en laiton, pignon acier poli non trempé, et porte-échappement 11 pierres, avec balancier et spi-

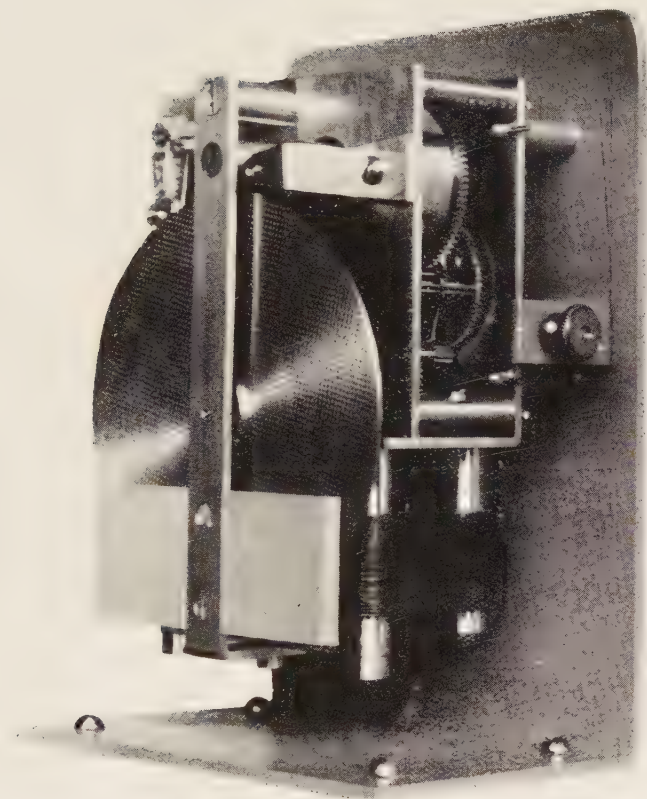


Fig. 6

Mouvement d'horlogerie électro-mécanique fonctionnant sur réseau alternatif possédant une réserve de marche de 40 heures.

ral auto-compensateur (fig. 6), on a pu obtenir les résultats suivants :

Un appareil examiné au bout de 54 jours de fonctionnement n'avait accusé qu'une minute de retard; à ce moment, le courant d'alimentation fut coupé, l'appareil continua à fonctionner, sur sa réserve mécanique, pendant 49 heures 1/2.

Le moteur étant à nouveau mis sous tension, l'appareil repartit seul au bout de 2 h. 10.

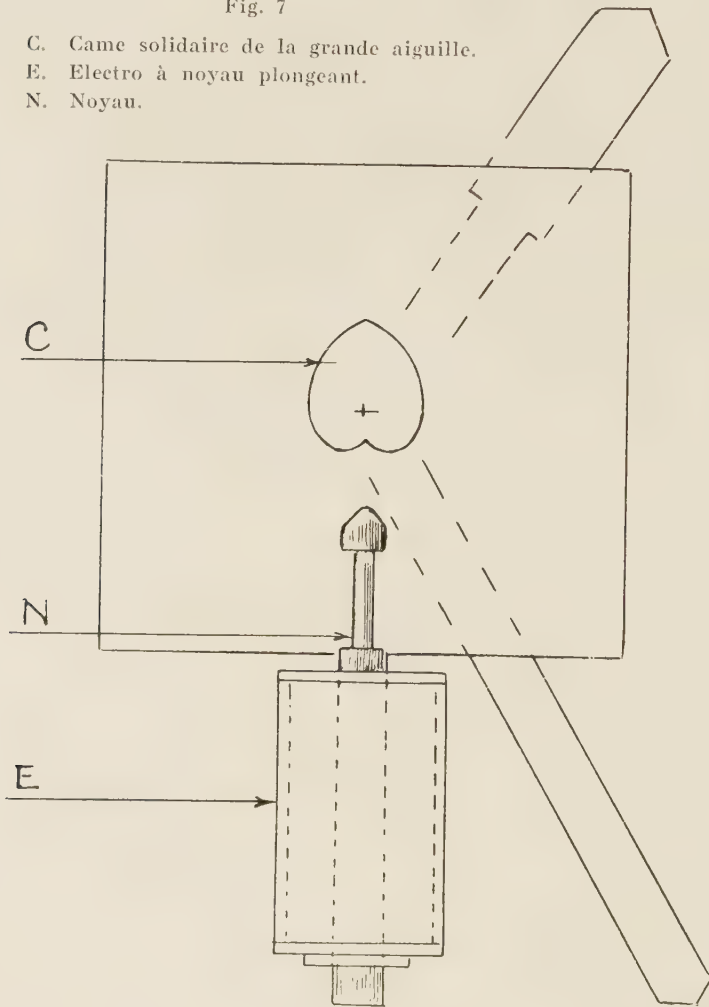
Les résultats de ce réglage, qui sont supérieurs à ceux obtenus avec un mouvement mécanique à remontage à main de même qualité, tiennent principalement au fait que le ressort du barillet, étant bandé constamment de la même quantité, l'échap-

pement fonctionne sous une force plus constante que dans les mouvements mécaniques à remontage à main.

L'appareil que nous venons d'étudier offre donc comme avantages principaux de ne faire intervenir aucun contact électrique, aucun aimant permanent, d'avoir un échappement circulaire insensible aux déplacements et aux trépidations, et de posséder, en outre, une réserve d'énergie mécanique, en cas d'interruption de courant.

La valeur de son réglage dépend, par conséquent, *uniquement de la qualité du mouvement et de son échappement.*

Fig. 7



L'emploi de plusieurs de ces mouvements, sur un même réseau de distribution d'électricité, ne résout donc pas le problème de l'unification de l'heure.

Il faudrait prévoir une remise à l'heure périodique de ces appareils, en plaçant par exemple sur chaque mouvement un électro-aimant à noyau plongeant, dont l'extrémité du noyau

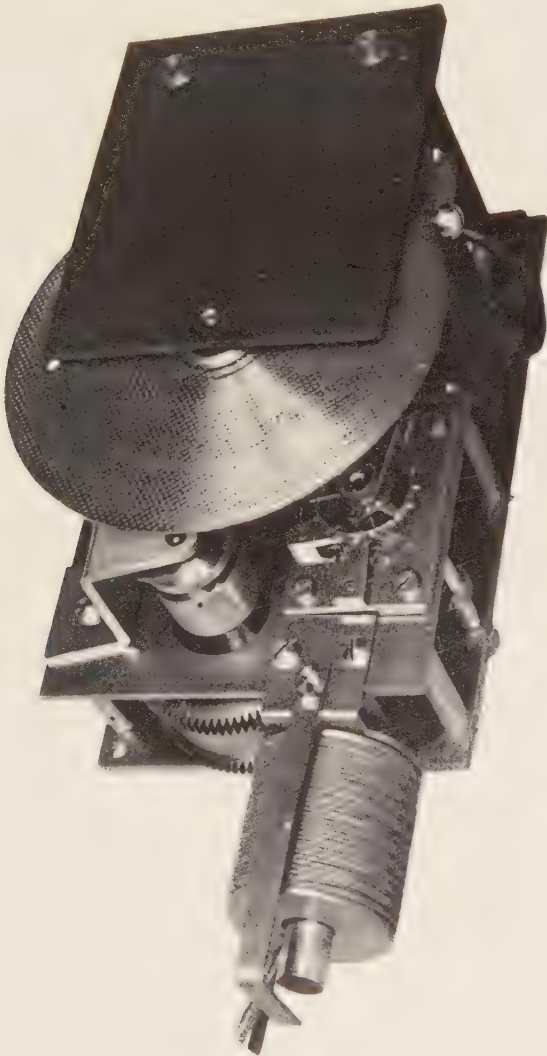


Fig. 8

Dispositif de correction de l'heure associé à un mouvement à remontage sur courant alternatif

viendrait s'appliquer sur une came de forme convenable, solidaire de la chaussée des aiguilles des minutes, montée à friction sur l'axe des roues de centre. L'extrémité du noyau de l'électro-aimant s'appliquerait exactement au milieu de l'encoche de la came, lorsque la position des aiguilles correspondrait à l'heure exacte de l'émission correctrice (fig. 7 et 8).

En utilisant comme étalon un des appareils et en le munissant d'un échappement spécial, à réglage plus précis, il serait possible de déclencher par un mobile de ce mouvement, faisant par exemple un tour en 24 heures, un contact fermant une ou deux fois par 24 heures, une ligne de remise à l'heure spéciale, dont l'énergie serait prise sur le réseau de distribution. (Nous verrons plus loin une solution particulière de ce type dans le cas de remise à l'heure par une ligne de « Despatching ».

Nous n'avons pas cru, toutefois, étudier spécialement cette solution, qui sort du programme que nous nous sommes fixé, de n'utiliser que les seules canalisations des réseaux de distribution, et nous arrivons tout naturellement à envisager l'utilisation même du réseau pour la remise à l'heure des appareils qui, par ailleurs, y puisent déjà leur source d'énergie de remontage.

CHAPITRE III

UTILISATION DES RESEAUX DE DISTRIBUTION POUR LA REMISE A L'HEURE

Ayant étudié un type d'horloges empruntant leur source d'énergie de remontage au réseau de distribution, et ne comportant aucun contact pour la commande de ce remontage, il reste à examiner les solutions à réaliser pour permettre la synchronisation des appareils répartis sur un même réseau, et ceci, sans faire intervenir aucune canalisation supplémentaire. Le problème se divise en deux parties:

1° Etude du signal de commande envoyé sur le réseau à une heure déterminée, susceptible d'actionner un dispositif de remise à l'heure, porté par chacune des horloges réparties sur le réseau;

2° Le dispositif particulier de remise à l'heure, ramenant les aiguilles dans la position correspondant à l'heure de l'émission du signal.

Le signal d'émission que nous avons étudié est réalisé par une émission de courant de fréquence très différente de celle des courants de distribution, de l'ordre de 1.000 périodes-seconde. Ce courant est en quelque sorte superposé au courant principal; il est détecté au poste récepteur, par un relais accordé insensible au courant normal 50 périodes, et qui ferme un circuit local au moment de la réception du courant à fréquence musicale. Le circuit local comprend: un électro-aimant E, qui agit par un dispositif approprié sur les aiguilles de l'horloge. Le principe employé ici est donc celui de la remise à l'heure exacte, à un instant donné (fig. 9 et 10).

Avant de développer la partie qui concerne la production et la réception des courants de commande à fréquence musicale, il peut être intéressant de donner quelques explications

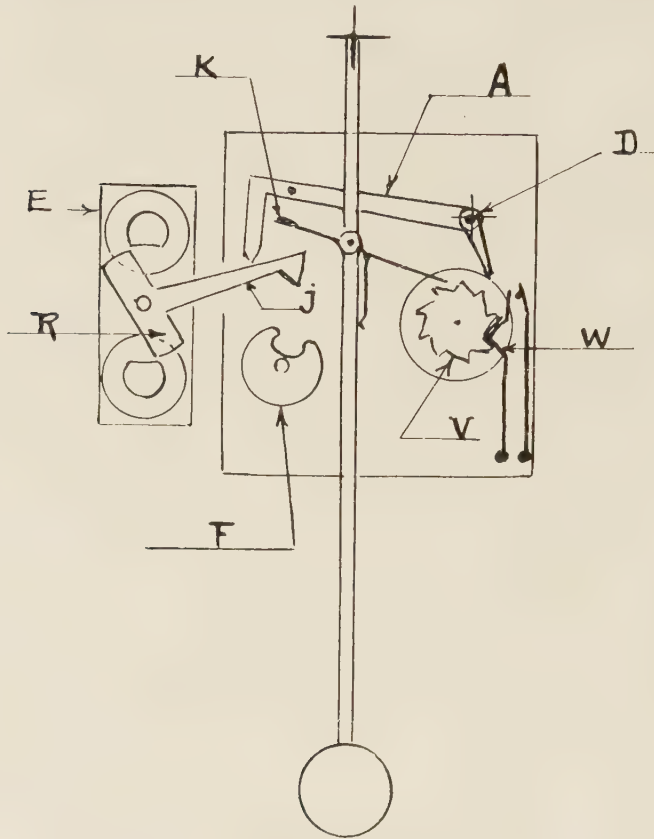


Fig. 9

Dispositif de remise à l'heure
associé à un régulateur entretenu par pile

complémentaires sur le dispositif de remise à l'heure qui se trouve sur l'horloge et qui est applicable non seulement aux appareils fonctionnant directement sur les secteurs de distribution, mais également aux régulateurs indépendants, entretenus par piles. De très nombreux dispositifs de remise à l'heure automatique ont déjà été proposés pour les horloges mécaniques ou électriques (*).

(*) Voir bibliographie, n° 13.

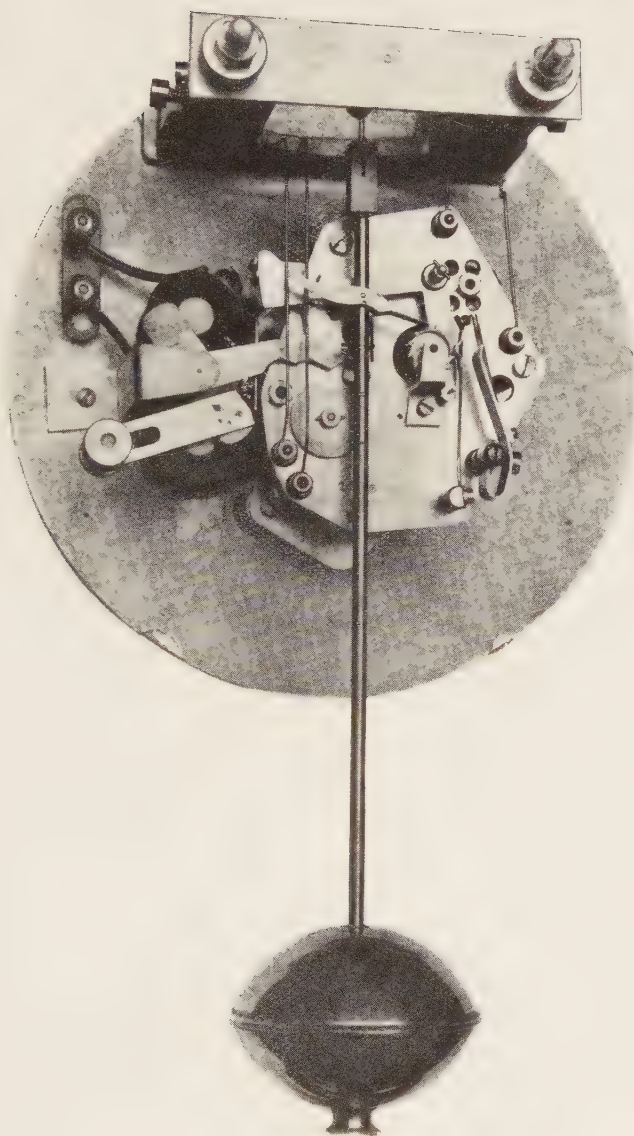


Fig. 10
Mouvement de régulateur électrique
actionné par pile avec dispositif de correction de l'heure.

Nous décrirons ici un des dispositifs que nous avons étudié et construit et qui a fait l'objet d'une série d'essais sur le réseau des chemins de fer de l'Etat; cet appareil a été adopté pour la remise à l'heure des régulateurs dans certaines gares importantes du réseau.

Dans ces installations, au lieu du réseau de distribution d'énergie électrique, on utilise, pour la remise à l'heure, les lignes téléphoniques de « Despatching », qui sont, à un instant donné, sous le contrôle d'un régulateur central, qui se trouve par exemple à la gare de Paris. C'est ainsi que toutes les horloges de la nouvelle gare du Havre sont remises à l'heure automatiquement à un instant donné depuis la gare de Rouen, qui est elle-même remise à l'heure par T. S. F. depuis Paris.

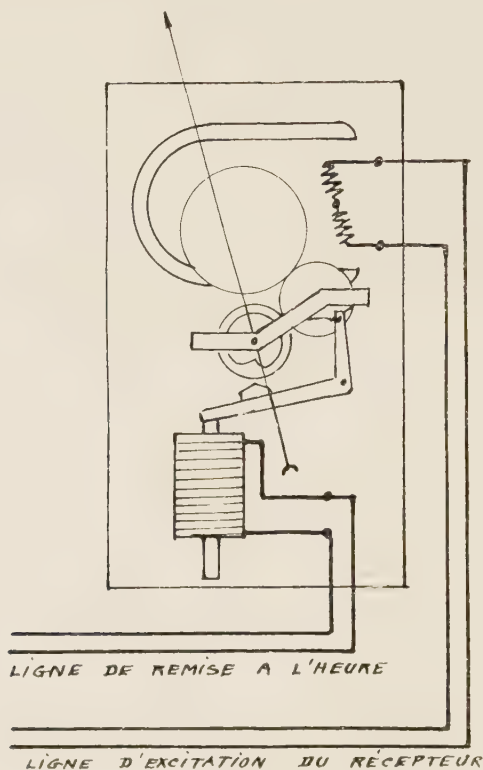


Fig. 11

Remise à l'heure automatique sur récepteur à secondes.

Chaque jour, une émission de signaux commandée par un régulateur rigoureusement à l'heure est faite sur les fils du circuit téléphonique « Despatching » et actionne, dans les gares,

les relais dont sont munies les pendules mères à synchroniser. L'action de ce relais se traduit par l'envoi dans l'électro-aimant E (fig. 11) d'une émission de courant, une ou deux fois par jour.

Une came F est goupillée sur le mobile qui fait un tour en 5 minutes; elle ne peut pivoter sans entraîner le rochet d'entraînement du rouage et les aiguilles. Dans ce dispositif, le mouvement d'horlogerie lui-même est remis à l'heure. Ce point est extrêmement important, car il permet d'employer cette remise à l'heure pour des régulateurs qui eux-mêmes distribuent l'heure à des horloges secondaires (réceptrices électriques) qui avancent par émissions toutes les 15 secondes, par exemple; si la correction journalière possible est en effet de ± 12 secondes, et que le régulateur ne varie que de une ou deux secondes par jour, l'avance ou le retard au bout de 24 heures n'atteindra jamais l'intervalle de temps séparant deux émissions consécutives aux réceptrices et, de ce fait, les horloges secondaires ne pourront pas présenter d'écarts avec le régulateur.

Ce point est très important, pour les installations de distribution horaire, telles que celles sur des réseaux de chemin de fer, qui, dans certains cas, comportent un grand nombre de réceptrices. Dans le cas où l'installation comporte également des réceptrices à avance toutes les secondes, on a été amené à réaliser un système de remise à l'heure sur la réceptrice elle-même (fig. 11).

Dans le cas des régulateurs pendulaires entretenus par piles, il faut, pour corriger l'écart, pouvoir dégager le rochet des deux pièces K et W qui l'empêchent de tourner librement; cette fonction est assurée par le levier A.

Fonctionnement. - Lorsque l'émission de remise à l'heure a lieu, l'électro-aimant attire dans le sens de la flèche la palette mobile R, laquelle entraîne dans sa course le levier J, qui lui est solidaire. Au même instant le levier A bascule en pivotant sur l'axe D et dégage, par l'intermédiaire de deux goupilles, le rochet des pièces K et W; cette fonction est terminée avant que J n'ait touché le bord extérieur de la came.

Le levier J continue sa course, sous l'attraction de l'électro, et vient frapper la came dans l'encoche en l'obligeant à reprendre la place qu'elle doit occuper. Ces deux fonctions durent une fraction de seconde, et, lorsque l'émission est coupée, les leviers J et A reprennent leur première position, à l'aide d'un contrepoids qui les fait basculer.

Il est possible, par ce dispositif, de corriger un écart de $\pm 12''$ par 24 heures

D'autres dispositifs ont été proposés, dans lesquels, au lieu d'une remise à l'heure exacte à un instant déterminé, chaque 24 heures par exemple, on produit au moment de l'émission du Despatching l'envoi d'un courant dans une bobine auxiliaire dont le flux correctif vient modifier celui de la bobine principale, entretenant les oscillations du balancier. Le sens de ce courant est commandé par la position d'avance ou de retard de l'horloge et le flux qu'il engendre est additif ou soustractif par rapport à celui de la bobine principale; il provoque ainsi le ralentissement ou l'accélération du mouvement de l'horlogemère (*).

Mais, à notre avis, l'inconvénient du dispositif de correction progressive est de ne permettre à aucun moment d'avoir l'heure officielle exacte, puisque le régulateur subit de continuelles corrections. Le dispositif de remise à l'heure décrit plus haut est également applicable à la remise à l'heure par les signaux horaires de la Tour Eiffel (**).

POSITION ACTUELLE DE LA QUESTION SUR LA PRODUCTION ET LA RECEPTION DES COURANTS DE COMMANDE A DISTANCE POUR REMISE A L'HEURE

L'utilisation des canalisations en charge du réseau de distribution d'énergie pour la remise à l'heure d'horloges ne constitue qu'un cas particulier du problème général de télécommande, dont les principales applications se rencontrent dans le domaine de l'éclairage public, dans la commande des changements de tarif des compteurs d'électricité, et dans la signalisation d'appels d'incendie.

Nous ne nous occupons, ici, que des réseaux de distribution 110-220 volts, à l'exclusion des réseaux de transport d'énergie à haute tension, pour lesquels cependant les exigences d'exploitation sont devenues telles, principalement avec le régime des interconnexions, que les problèmes de transmission de renseignements des différents centres entre eux, et les com-

(*) Voir bibliographie, n° 14.

(**) Voir bibliographie, n° 15.

mandes automatiques à distance, sont devenus de première nécessité (*). La solution de ce problème, par courants porteurs haute fréquence par ondes dirigées, permet également la distribution de l'heure entre les divers centres interconnectés.

Les premiers essais de télécommande sur les réseaux basse tension paraissent avoir été faits pour la première fois, en France, par MM. BROWN et ROUTIN, en 1897 (**). Depuis, de nombreux ingénieurs ont imaginé des solutions variées; mais il semble que c'est aux Etats-Unis que, pour la première fois, on ait appliqué industriellement cette solution à l'allumage et l'extinction des lampadaires installés sur des circuits d'éclairage public (***). Le dispositif qui paraît jusqu'ici avoir donné les meilleurs résultats et qui, maintenant, fonctionne tant en France (****) qu'aux Etats-Unis, depuis plusieurs années, consiste à injecter sur le réseau en charge un courant de fréquence très différente de celle du réseau (fréquence comprise, en général, entre 400 et 1.200 périodes).

On peut schématiser comme on le voit (figure 12) une installation basée sur ce principe. On en verra plus loin une réalisation explicative.

Nous avons étudié, pour le cas qui nous intéresse de la remise à l'heure d'horloges du type précédemment décrit, des dispositifs d'émission et de réception que nous décrirons successivement. Mais, auparavant, nous signalerons comment avaient été effectués les premiers essais dans ce domaine de remise à l'heure.

Sur une ligne à courant continu, MM. BROWN et ROUTIN se servaient, à la station centrale, d'un petit alternateur dont l'un des pôles est relié à la ligne et l'autre à la terre; chez l'abonné,

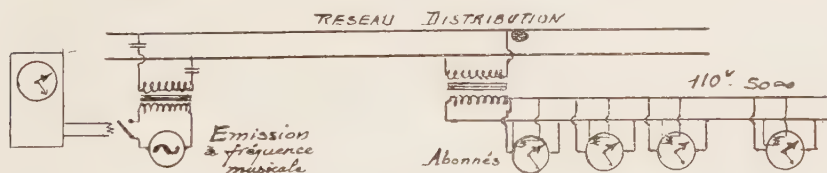


Fig. 12

on se sert d'un condensateur en série avec un électro-aimant, l'un des pôles de l'ensemble étant relié à la ligne et l'autre à la terre.

(*) Voir bibliographie, n° 16.

(**) Voir bibliographie, n° 17.

(***) Voir bibliographie, n° 18.

(****) Voir bibliographie, n° 19.

Au moment du signal, l'alternateur qui est commandé par une horloge-mère envoie un courant alternatif bref sur le circuit: alternateur, ligne, condensateur, électro-aimant, terre; l'électro-aimant entre alors en action pour telle commande à distance que l'on aura choisie. Le courant continu de ligne ne peut évidemment pas actionner l'électro de signal. Sur une ligne à courant alternatif, on a une disposition et un fonctionnement analogues, mais l'alternateur est remplacé par une dynamo et le condensateur par une self-induction.

Ce système a été perfectionné par MM. C.-F. BAUDRY et FONVILLE, qui l'ont appliqué à la distribution de l'heure. Des essais furent même exécutés à Bordeaux en 1901-1902-1904.

MM. Jean RENOUS et Albert TURPAIN proposèrent l'envoi de courants électriques de haute fréquence sur le réseau.

Enfin, en 1918, M. Pierre TRICHARD préconisa un système dans lequel le signal est constitué par une série de très faibles variations périodiques de tension de part et d'autre de la tension normale. On utilise un phénomène de résonance pour recevoir ce signal sur un voltmètre ou une combinaison de deux voltmètres.

Ce système est prévu pour la transmission de l'heure aux abonnés.

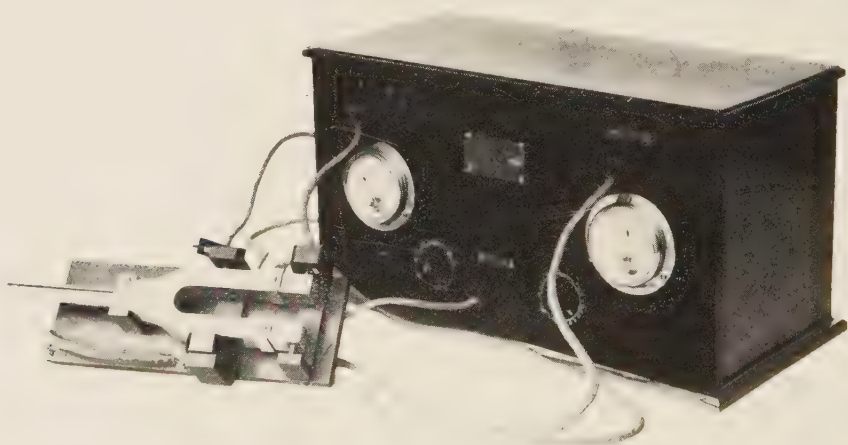


Fig. 13

Poste d'émission à fréquences musicales
constitué par un diapason à fréquences variables.

1° Poste d'émission

Un des systèmes qui nous a donné des résultats satisfaisants comporte, en principe, un poste d'émission à fréquence musicale composé d'un diapason entretenu par lampes triodes avec circuit spécial d'utilisation fournissant un courant amplifié à la fréquence du diapason (fig. 13 et 14); le diapason joue donc, ici, le rôle de générateur de courant à fréquence musicale, et comme la précision de la fréquence du diapason peut être de l'ordre du 1/100.000 pour des diapasons en élinvar, on dispose d'un courant de commande particulièrement précis (*). Ce courant est injecté dans le réseau de distribution au moyen d'un transformateur branché soit en série, soit en dérivation. Le

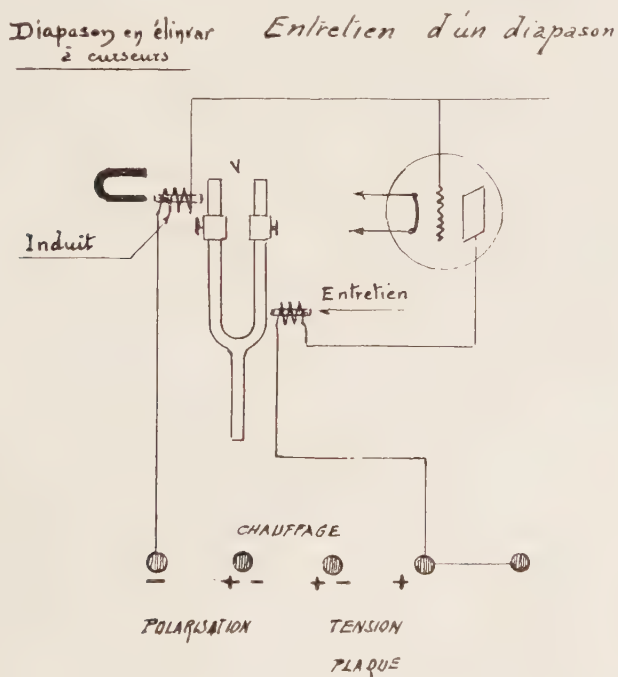


Fig. 14

montage permet d'assurer le fonctionnement normal des relais récepteurs, malgré les variations de la charge de la ligne, parce que la tension musicale fournie par l'oscillateur à la ligne est

(*) Voir bibliographie, n° 20.

proportionnelle à la charge. Dans le schéma (fig. 15), la ligne A à courant fort, dont l'intensité I est variable avec la charge G est la source à tension efficace constante. Le secondaire du transformateur T se trouve intercalé dans la ligne, dont le primaire attaque symétriquement les deux lampes L_1, L_2 , en appliquant entre les grilles de ces deux lampes et le filament la tension musicale fournie par la source F (diapason) par l'intermédiaire du transformateur C .

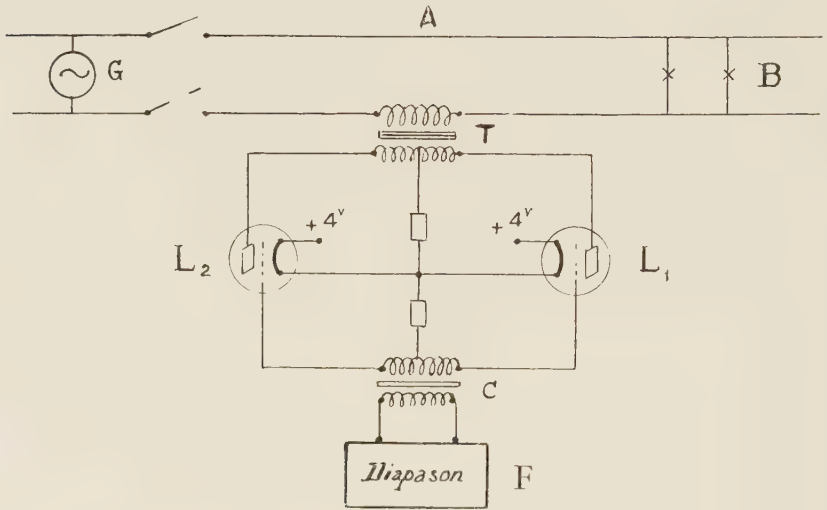


Fig. 15

Raisonnons comme s'il n'y avait qu'une seule lampe pour simplifier la démonstration. Le schéma 15 bis représente une

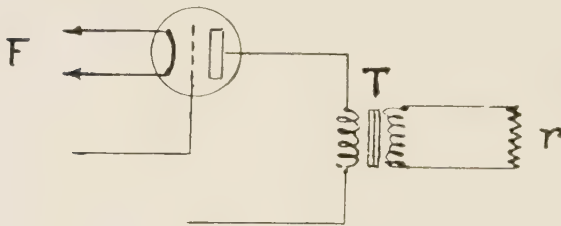


Fig. 15 bis

lampe débitant par l'intermédiaire d'un transformateur T sur une résistance de charge r (résistance de la ligne). Supposons que la résistance r rapportée au primaire soit assez grande pour qu'on

puisse négliger, par rapport à cette résistance, la résistance interne de la lampe. Si le rapport de transformation est n , la résistance rapportée au primaire est n^2r . La puissance instantanée en fréquence musicale fournie par la lampe est:

$$W = n^2r, i^2 \dots \dots \dots (1)$$

où i représente la composante musicale du courant plaque qui s'exprime par :

$$i = \frac{ku}{n^2r + \varphi} \dots\dots\dots (2)$$

k est le coefficient d'amplification de la lampe et u est la tension musicale appliquée sur la grille; comme nous avons négligé φ par rapport à n^2r nous aurons :

$$i = \frac{ku}{n^2r} \dots\dots\dots (3)$$

la puissance musicale fournie par la lampe sera :

$$W = n^2r \cdot \frac{k^2 u^2}{n^4 r^2} = \frac{k^2 u^2}{n^2} \frac{1}{r} = \frac{k^2 u^2}{n^2 U} I$$

Nous voyons donc que cette puissance est proportionnelle au courant dans le réseau I , car $\frac{k^2 u^2}{n^2 U}$ est une constante pour des conditions de fonctionnement données.

La tension musicale fournie par l'oscillateur est donc bien proportionnelle à la charge.

2° Dispositif de réception et de remise à l'heure proprement dite

Nous avons construit deux systèmes de remise à l'heure, le premier, comme nous l'avons exposé, constitué par un électro-aimant à noyau plongeant, noyau terminé en forme de Δ et qui vient s'appuyer sur une came en forme de cœur, solidaire de la chaussée des aiguilles, qui peuvent tourner à friction sur leur axe, suivant schéma (fig. 7).

Au moment de l'émission de correction, si les aiguilles sont décalées par rapport à l'heure officielle, elles sont ramenées automatiquement dans la position correspondante, du fait que le noyau N de l'électro oblige la came C , qui peut tourner à friction sur l'axe O , solidaire des aiguilles, à revenir dans sa position normale, le cœur de la came en contact avec l'extrémité du noyau N . Le deuxième système, dont le principe est le même, présente toutefois quelques différences au point de vue réalisation.

Ici l'électro agit sur un levier oscillant, dont l'extrémité présente un bec, qui vient s'introduire dans la came solidaire de la chaussée des aiguilles présentant une encoche appropriée (fig. 9), même principe que le dispositif décrit à cette figure.

Relais récepteurs

Les relais des différents postes récepteurs fermant les circuits locaux de remise à l'heure étaient réalisés de la façon suivante (modèle de la Compagnie des Compteurs) (*):

Sur les pièces polaires d'un aimant se trouvent fixées deux petites bobines reliées en série. Ces deux bobines sont branchées en dérivation sur la ligne du réseau à 110 volts. Les pièces polaires de l'aimant agissent sur une lame vibrante encastrée à une de ses extrémités, l'autre extrémité se terminant par une petite lamelle d'acier pouvant entraîner une roue à rochet, placée au-dessus.

Le fonctionnement du relais est le suivant:

La lame vibrante encastrée a, de par ses dimensions, une période de vibrations mécaniques bien déterminée et correspondant à l'une des fréquences d'émission. Lorsque des courants de cette fréquence seront émis sur les câbles, la lame vibrante se mettra à vibrer avec son amplitude maximum et entraînera d'un mouvement de rotation continu la roue à rochet par l'intermédiaire de la petite lamelle d'acier (fig. 16) (**).

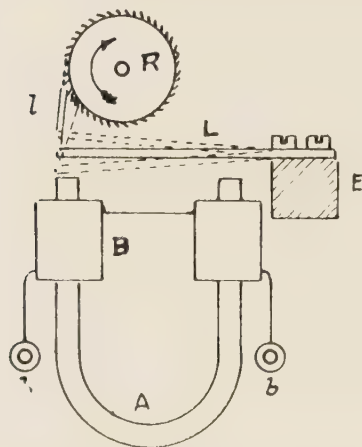


Fig. 16

- A Aimant.
- B Bobines.
- L Lame vibrante.
- E Encastrément.
- R Roue à rochet.
- l Lamelle de commande.
- b Bornes de connexion.

Cette transformation du mouvement vibratoire de la lame de fréquence acoustique en mouvement de rotation circulaire présente une certaine analogie avec le moteur chronométrique de M. A. GUILLET présenté à l'Académie des Sciences en février 1915. Mais, ici, le mouvement n'est pas uniforme.

(*) Voir bibliographie, n° 21.

(**) Voir bibliographie, n° 22.

Ce mouvement de rotation est ensuite utilisé pour commander un interrupteur à mercure qui fermait le circuit d'alimentation de l'électro-aimant de remise à l'heure.

Comparaison entre diapasons et lames vibrantes

Une première série d'essais comparés entre deux relais présentant les mêmes caractéristiques quant à la partie électrique, mais dont l'organe vibrant était constitué dans l'un par une lame, dans l'autre par un diapason, ont permis d'obtenir les résultats suivants:

La lame et le diapason du relais étaient accordés à la fréquence 950; l'émission à fréquence musicale était produite par un diapason à fréquence réglable en acier spécial (acier cloche recuit). Une série d'essais effectués en 1928 et 1929 montrèrent qu'en faisant varier la fréquence d'émission, les lames vibrantes entraient en vibration pour un champ de fréquence beaucoup plus étendu que pour le diapason.

Voici, du reste, les résultats d'une série d'essais:

ESSAIS COMPARÉS DES DIVERS RELAIS

1^{er} ESSAI

Émissions { 2 diapasons à masses réglables pouvant donner les fréquences
928-956 et 960-990

RELAIS RÉCEPTEURS : Constitués par un circuit accordé et une lame vibrante accordée à la fréquence 950.

FRÉQUENCES DU DIAPASON	INTENSITÉS DANS LES ELECTROS DES RELAIS I	OBSERVATIONS
980	I = 0,03 amp.	le relais fonctionnait assez bien
984	—	— — faiblement
988	—	— — —
989	—	— — très faiblement
964	—	— — très bien
956	—	— — —
948	—	— — —
932	—	— — bien

2^e ESSAI

Émissions { 2 diapasons à masses réglables pouvant donner les fréquences
928-958 et 960-990

RELAIS RÉCEPTEURS : constitués par un diapason substitué à une lame vibrante.

FRÉQUENCES DU DIAPASON	INTENSITÉ DANS LES ELECTROS DES RELAIS I	OBSERVATIONS
930	I = 0,03 amp.	le relais n'a pas fonctionné
940	—	—
950	—	— faiblement
952	—	— démarre faiblement
956	—	— bien
964	—	— au choc
966	—	— très mal
968	—	— ne démarre plus

3^e ESSAI

Émissions { 2 diapasons à masses réglables pouvant donner les fréquences
928-958 et 960-990

RELAIS RÉCEPTEURS : constitués par un circuit accordé et un diapason substitué à la lame vibrante.

FRÉQUENCES DU DIAPASON	INTENSITÉ DANS LES ELECTROS DES RELAIS I	OBSERVATIONS
968	I = 0,03 amp.	le relais ne démarre pas
962	—	— démarre très bien
956	—	— bien
952	—	—
950	—	— au choc
946	—	— ne démarre presque plus

4^e ESSAI

Émissions { 2 diapasons à masses réglables pouvant donner les fréquences
928-958-960-990

RELAIS RÉCEPTEURS : constitués par un circuit accordé et une lame vibrante.

FRÉQUENCES DU DIAPASON	INTENSITÉ DANS LES ELECTROS DES RELAIS I	OBSERVATIONS
932	I = 0,03 amp.	le relais démarre bien
948	—	— très bien
958	—	—

5^e ESSAI

Émissions { 2 diapasons à masses réglables pouvant donner les fréquences
928-958-960-990

RELAIS RÉCEPTEURS : constitués par un circuit accordé et un diapason substitué à la lame vibrante.

FRÉQUENCES DU DIAPASON	INTENSITÉ DANS LES ELECTROS DES RELAIS I	OBSERVATIONS
930	I = 0,03 amp.	le relais ne démarre pas
932	—	—
940	—	—
950	—	démarre faiblement
952	—	— assez bien
954	—	—
956	—	— bien
964	—	— mal
968	—	— très mal
970	—	— très faiblement
974	—	ne démarre plus

6^e ESSAI

Émissions { 2 diapasons à masses réglables pouvant donner les fréquences
960-990 et 928-958

RELAIS RÉCEPTEURS : constitués par un circuit accordé et un diapason substitué à la lame vibrante.

FRÉQUENCES DU DIAPASON	INTENSITÉ DANS LES ELECTROS DES RELAIS I	OBSERVATIONS
968	I = 0,03 amp.	le relais démarre assez bien
956	—	— bien
954	—	— faiblement
950	—	— très faiblement
948	—	— au choc
946	—	— ne démarre plus
940	—	— ne fonctionne plus

7° ESSAI

Émissions { 2 diapasons à masses réglables pouvant donner les fréquences
928-958 et 960-990

*RELAIS RÉCEPTEURS : constitués par un circuit accordé
et une lame vibrante.*

FRÉQUENCES DU DIAPASON	INTENSITÉ DANS LES ELECTROS DES RELAIS I	OBSERVATIONS
932	I = 0,03 amp.	le relais démarre très bien
944	—	— — —
950	—	— — —
956	—	— — —
964	—	— — —
976	—	— — assez bien
970	—	— — bien

Conclusion des essais

L'utilisation des diapasons présente donc un avantage sur les lames vibrantes:

1° A cause du champ de fréquence bien plus resserré, pour lequel les appareils entrent en fonctionnement;

2° A cause de la constance d'étalonnage qui peut être obtenue par les diapasons et qu'il est difficile d'obtenir avec les lames vibrantes, tant à cause de la fixation des lames (encastrement) que pour la façon dont la lame travaille par rapport à la roue.

Essais de remise à l'heure sur des circuits d'éclairage public

Une série d'essais de remise à l'heure d'horloges ont été réalisés en collaboration avec M. S. BRIEU, au cours des années 1930-1931, sur plusieurs circuits d'éclairage public de la C. P. D. E., et grâce à la grande obligeance de M. LESOUPLE, ingénieur en chef de l'éclairage public à la C. P. D. E., entre :

La sous-station Sèvres-Lecourbe-Mairie du XV^e;
Pont Alexandre-III et Postes Ecuries-de-l'Alma;
Molitor-gare d'Auteuil et Ingres;
Station boulevard Saint-Germain, sous-station Laos.

Voici, dans leur ordre chronologique, les résultats de ces essais :

**1° Essais effectués entre les stations Sèvres-Lecourbe
et Mairie du XV^e, le 14 mars 1930**

Il a été possible d'effectuer une remise à l'heure d'horloges commandées par un relais à résonance, à lame vibrante ou diapason, sur un circuit à vide, en disposant d'un poste d'émission constitué par un diapason entretenu par lampe triode. Le poste d'émission était alimenté par accumulateurs. Le diapason d'alimentation avait une fréquence de 950 VD.

**2° Essais effectués entre stations: Pont Alexandre-III
et les Ecuries de l'Alma
29 avril 1930**

On a pu faire fonctionner des relais à résonance sur un circuit en charge (environ 5 kilowatts).

**3° Essais effectués entre stations: Molitor et Ingres
14 mai 1930**

En attaquant le circuit au moyen d'un transformateur en série, on a pu moduler des intensités proportionnelles à la charge du « feeder », et on obtenait une puissance largement suffisante pour actionner les relais.

**4° Essais effectués à la station boulevard Saint-Germain
22 mai 1930**

En substituant au relais à lame vibrante un filtre passe-haut, suivi d'une lampe amplificatrice B-409, on obtient une amplification supérieure et une meilleure sélectivité.

**5° Essais effectués les 21 et 22 décembre 1930
à la station Laos, sur circuit de 3.000 volts**

Avec le poste d'émission dont nous disposions, il n'a pas été possible d'obtenir une puissance suffisante pour actionner le relais de remise à l'heure situé chez un abonné.

Etant donné l'importance du poste d'émission à prévoir pour escompter des résultats satisfaisants, nous n'avons pu, pour des raisons financières, poursuivre nos essais dans cette voie.

Nous avons donc été amené à rechercher une solution moins générale et, au lieu de faire des émissions sur tout un circuit de distribution, nous avons simplifié le problème en étudiant un système de remise à l'heure locale pour chaque installation, de quelque importance, comportant au minimum une dizaine d'appareils.

Ces essais ont été poursuivis en collaboration avec Michel DUREPAIRE, qui avait déjà étudié divers dispositifs de télécommande (*) et notamment un dispositif d'émissions à basses fréquences.

Description du système de remise à l'heure locale

L'installation comporte un poste d'émission très simple, se

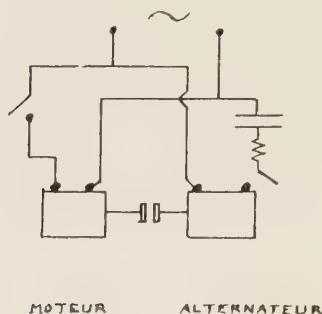


Fig. 17

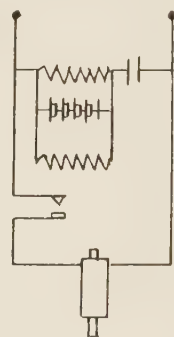


Fig. 18

composant d'un petit générateur de courant à fréquence musicale comprenant un alternateur, entraîné par un moteur électrique fonctionnant sur le réseau (fig. 17); le courant à fréquence musicale ainsi produit est injecté dans le réseau au moyen d'un condensateur.

Ce groupe est mis en marche automatiquement, une ou deux fois par jour (ou plus) par l'horloge-mère, pendant une durée de quelques secondes, pour lui permettre de prendre sa vitesse de régime. A l'heure précise où doit s'effectuer la remise à

(*) Voir bibliographie, n° 23.

l'heure des différentes horloges, l'horloge-mère ferme un interrupteur qui permet d'envoyer une courte impulsion de courant dans le réseau. Ce courant est reçu par les récepteurs de chaque horloge, et toutes les aiguilles, qu'elles aient un peu d'avance ou de retard, sont ramenées à la même position.

Relais récepteurs

Un relais récepteur se compose d'une bobine de self-induction, sans fer, en série avec un condensateur. L'ensemble est branché directement sur le réseau. Aux bornes de la bobine de self se trouve un élément redresseur à contact, cuivre-oxyde de cuivre, débitant dans un relais. Ce relais commande l'électro-aimant de remise à l'heure, dont il a été question ci-dessus (fig. 18). (C env. 2 microfarads, L env. 12 millihenrys.)

Le circuit résonant est accordé à la fréquence d'émission du signal.

L'arrivée de celui-ci provoque une surtension aux bornes de la bobine de self. Le courant redressé par l'élément à oxyde de cuivre parcourt le relais, qui est alors actionné. Le courant du secteur à fréquence basse (50 périodes par seconde) n'a aucune action sur l'ensemble.

Essais réalisés

Des essais de ce dispositif ont été effectués en laboratoire, dans le courant de 1932, et, en 1933, de nouveaux essais furent réalisés au Laboratoire des P. T. T., service de M. SALOMON; les résultats obtenus ont été entièrement satisfaisants.

Malgré ces conclusions favorables, il faut bien reconnaître que cette solution n'est qu'approchée, car si les divers appareils d'une même installation possèdent effectivement une heure identique, chacune des diverses installations peuvent présenter entre elles des différences.

La solution générale consiste donc à injecter sur tout le réseau une émission au moyen de postes suffisamment puissants; d'autre part, le système de relais étudié précédemment convient également pour le cas d'une émission faite d'un poste central.

En application de ces principes, des essais pratiques sont en cours, en collaboration avec les services techniques de la Ville

de Paris, pour permettre la remise à l'heure des diverses horloges placées sur la voie publique.

Une autre solution du problème de l'unification de l'heure repose sur la nouvelle propriété que possèdent certains réseaux de distribution de maintenir leur fréquence moyenne constante, et nous allons examiner tout d'abord les appareils qui permettent d'obtenir ce résultat, dans des conditions satisfaisantes.

CHAPITRE IV

APPAREILS DE CONTROLE DE FREQUENCE MOTEURS SYNCHRONES

Dans ce chapitre, nous étudierons comment peuvent opérer les usines de distribution, pour obtenir une constance de la fréquence de leur courant suffisante pour permettre d'utiliser comme horloges réceptrices de petits moteurs synchrones.

Mais le réglage précis de la fréquence n'a pas comme objet essentiel pour les réseaux de distribuer l'heure; le but principal est de permettre le fonctionnement convenable des interconnexions.

L'exploitation rationnelle des réseaux, dont les diverses usines sont reliées entre elles ou plus exactement interconnectées, doit répondre à certaines conditions:

Echange d'énergie, conformément à un programme fixé à l'avance, répartition des charges entre les différentes usines productrices, permettant l'exploitation la plus économique; réglage de la charge dans les lignes d'interconnexion, pour que le courant dans celles-ci ne dépasse pas leur pouvoir normal de transmission, etc...

La théorie et l'expérience prouvent que pour pouvoir remplir ces différentes conditions, il importe avant tout que la fréquence soit maintenue stable et bien définie. En fait, aux Etats-Unis, 90 % des réseaux ont leur fréquence contrôlée, et en Angleterre plus de 100 centrales règlent également leur fréquence entre d'étroites limites.

Nous nous trouvons, toutefois, en présence de deux types de réglage de fréquence, l'un instantané (*) et l'autre de moyenne, qui paraît mieux adapté à la distribution de l'heure. Nous ne nous occupons ici que de ce deuxième mode de réglage.

(*) Voir bibliographie, n° 24.

Nous signalerons d'abord les divers dispositifs existant dans ce domaine et donnerons les résultats d'une étude que nous avons faite sur un nouvel appareil.

L'idée du contrôle de la fréquence moyenne du courant alternatif semble avoir été donnée pour la première fois par THURY en 1899. THURY avait en effet imaginé et réalisé à cette époque une dynamo, réglée par un régulateur à boule, qui servait d'horloge-mère.

Cette dynamo, servant en même temps d'alternateur, envoyait du courant dans de petits moteurs triphasés synchrones.

Le moteur de réception était constitué par un aimant en fer à cheval monté sur un pivot tournant autour d'un axe vertical et de trois bobines disposées dans un plan horizontal.

Le réglage de la dynamo était effectué par le régulateur à boule chargé d'agir sur un enroulement de réglage lorsque la vitesse dépassait une certaine limite.

Mais en fait, l'utilisation pratique du courant alternatif commercial, pour la mesure du temps, date de 1916; jusqu'à cette date aucune méthode ni aucun dispositif n'étaient suffisamment au point pour permettre l'emploi continu d'opérations de ce genre.

Voici comment s'exprime sur ce sujet M. WARREN dans son dernier rapport au Congrès International d'Electricité de Paris, en 1932:

« Dès 1916, on a appliqué, dans la région de Boston, au courant fourni par la « Edison-Electric Illumating Company », une méthode de réglage de la fréquence moyenne qui permettait d'utiliser le courant alternatif, pour la mesure du temps, en actionnant les horloges au moyen de petits moteurs synchrones à démarrage automatique.

« Une horloge régulatrice installée à la station centrale agissait de temps en temps sur les régulateurs des turbines, donnant ainsi un réglage suffisamment précis.

« Cette horloge régulatrice, comprenant deux mouvements séparés; le premier, un pendule battant la seconde, entraînait une aiguille noire sur un grand cadran; le deuxième, actionné par un petit moteur synchrone à démarrage automatique, entraînait une aiguille brillante, ayant même centre que l'aiguille noire. Ces deux aiguilles, dans les horloges régulatrices standard de ce type, sont liées à leurs dispositifs d'entraînement respectifs par des trains d'engrenages. L'aiguille noire donne l'heure vraie à raison de 5 minutes pour un tour complet. Ces deux

aiguilles, mises en marche simultanément, restent ensemble si la fréquence moyenne du courant alternatif est bien réglée; toute variation de cette fréquence se traduit par un décalage angulaire entre les deux aiguilles.

« A tout moment l'angle des deux aiguilles indique la valeur de l'erreur commise sur l'heure distribuée. On emploie l'expression « heure distribuée », pour distinguer l'heure donnée par le courant alternatif de l'heure vraie donnée par le pendule.

« On doit agir de temps en temps sur les régulateurs des turbines, pour maintenir les deux aiguilles au voisinage l'une de l'autre, et faire coïncider l'heure distribuée avec l'heure vraie. Les horloges régulatrices ont des échappements apériodiques de GRAHAM, leurs tiges de pendules sont en invar, et leurs mouvements actionnés électriquement; l'heure est alors donnée par l'aiguille noire avec une exactitude suffisante » (fig. 19).

L'horloge régulatrice, ayant fait ses preuves, s'est répandue très rapidement aux Etats-Unis.

Ce type de régulateur de contrôle de fréquence moyenne se construit encore actuellement, bien que la lecture de l'angle entre les deux aiguilles ne soit pas très aisée du fait que, d'une

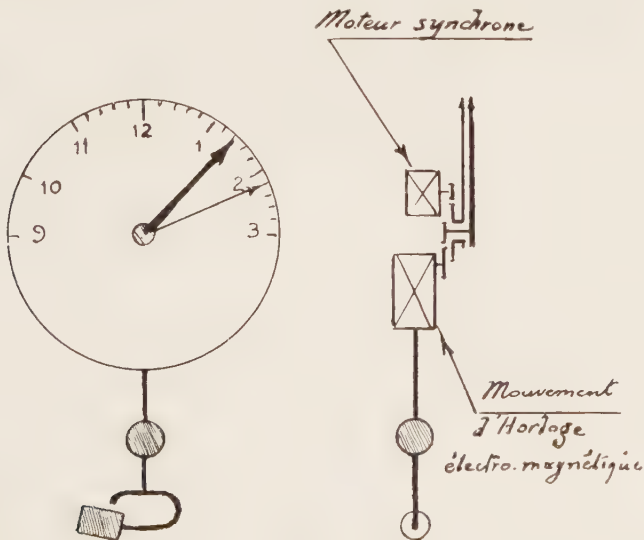


Fig. 19

Principe d'une horloge de contrôle de fréquence moyenne.
Indicateur de fréquence moyenne.

part, ces deux aiguilles se déplacent constamment, et que, d'autre part, celle qui est actionnée par le pendule avance par saccades, toutes les secondes, alors que celle qui est commandée par le moteur synchrone tourne d'un mouvement continu.

On a amélioré cet appareil, en supprimant les deux aiguilles et en faisant agir les deux mouvements respectivement sur les deux roues d'un différentiel, dont le satellite commande l'aiguille indicatrice. Lorsque la fréquence est correcte, l'aiguille reste immobile; lorsqu'elle est trop faible, ou trop élevée, celle-ci se déplace dans un sens ou dans l'autre, sa position à un moment donné, sur un cadran qui peut être gradué en secondes, représentant l'avance ou le retard, indique l'écart entre l'heure donnée par la fréquence et l'heure du mouvement à pendule.

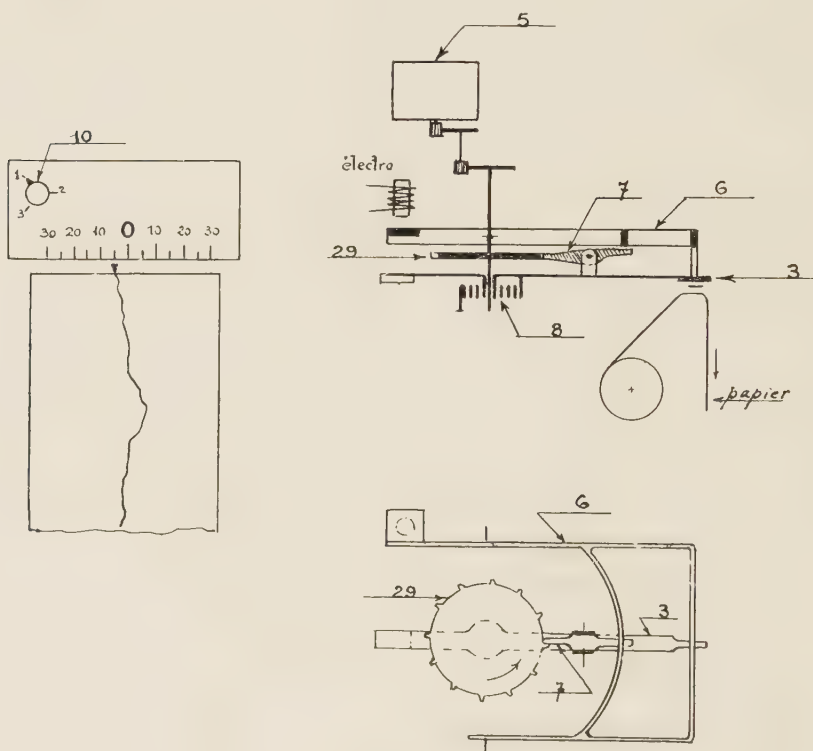


Fig. 20

Dans certains appareils une des roues du différentiel est commandée, non plus directement par le mouvement chronométrique à balancier, mais par un petit moteur à courant continu dont la vitesse est réglée par ce mouvement chronomé-

trique. Les deux roues du différentiel étant ainsi animées d'un mouvement de rotation uniforme, l'aiguille indicatrice reste bien fixe, ce qui permet également l'enregistrement sur papier de la courbe de fréquence moyenne. Toutefois, ce perfectionnement est compensé en partie par une complication de l'appareil, résultant de l'adjonction du moteur à courant continu, d'une batterie d'accumulateurs pour l'alimentation de ce moteur, et du dispositif de synchronisation de ce dernier par l'horloge.

Nous avons dans ce domaine réalisé un appareil basé sur un principe analogue à celui de la stroboscopie, et construit de la façon suivante (fig. 20 et 21) :

Une roue dentée 29 est entraînée, à une vitesse proportionnelle à la fréquence, par un mécanisme à moteur synchrone auto-démarrreur 5. La vitesse de rotation de cette roue et le nombre de ses dents sont déterminés par l'échelle que l'on désire obtenir. Par exemple, pour une échelle de ± 30 secondes,

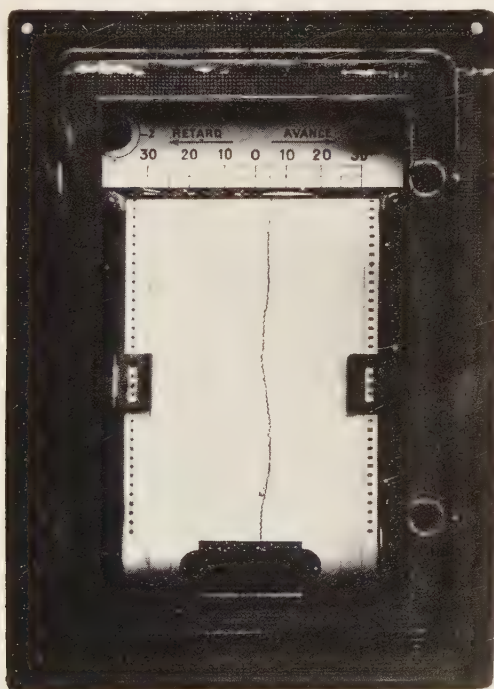


Fig. 21

Indicateur de fréquence moyenne

cette roue fait un tour en 6 minutes (pour une fréquence exacte) et porte 12 dents. Si la fréquence est exacte, une dent de la roue remplace donc, en un point déterminé de l'espace, la dent qui la précède en 30 secondes exactement. Si la fréquence est trop basse au bout de 30 secondes, une dent n'aura pas atteint tout à fait le point où se trouvait la dent précédente 30 secondes avant. Si la fréquence est trop élevée le contraire se produira.

Une aiguille 3, grâce à un dispositif d'entraînement commandé par une horloge-mère, à remise à l'heure par T. S. F., est rendue solidaire de la roue dentée 29 ou libérée de celle-ci.

L'aiguille est ainsi animée d'un mouvement de va-et-vient.

Si la fréquence est exacte, l'aiguille sera toujours libérée au même point et tracera une droite sur le papier. Si la fréquence est trop basse, elle sera libérée plus tôt, et si elle est trop élevée, elle sera libérée plus tard; l'inscription sur le papier se déplacera vers le retard ou vers l'avance.

Ce mécanisme peut être ainsi comparé à un dispositif stroboscopique.

Au moment de la mise en route de l'appareil, si un dispositif spécial n'était pas prévu, l'inscription partirait d'un point quelconque de l'échelle. Il est donc nécessaire de faire une mise à zéro. Cette mise à zéro se fait au moyen d'un bouton. Ce bouton, placé dans une certaine position, coupe les émissions de l'horloge; l'aiguille se déplace donc sous l'action du moteur synchrone.

Lorsque l'aiguille passe au zéro, le bouton immobilise l'aiguille en ce point et les émissions de l'horloge sont rétablies.

Une solution d'un autre type vient d'être proposée par M. A. GUILLET (*).

Le contrôle de la fréquence étant effectué d'une façon régulière et sa stabilité suffisamment assurée, de nombreux systèmes de moteurs synchrones ont été proposés pour la conduite des mouvements d'horlogerie.

Les deux principaux systèmes sont:

Le premier, le plus simple, est constitué par un moteur purement synchrone à démarrage manuel. Certains ont des pièces inductrices bipolaires dont les épanouissements sont dentés intérieurement et des rotors en fer doux; un volant monté

(*) Voir bibliographie n° 25.

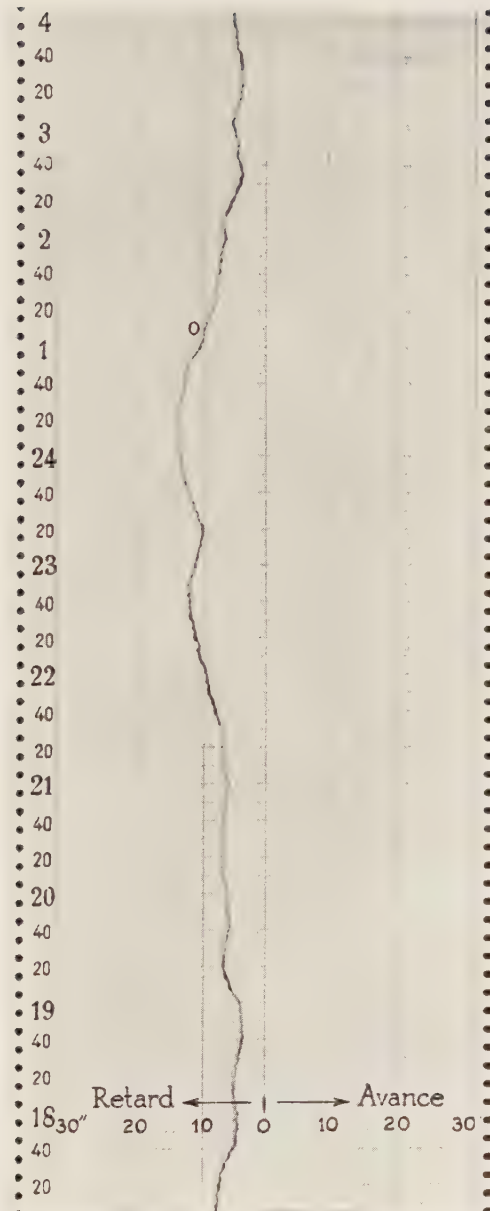


Fig. 22

à friction ou par accouplement élastique sur l'arbre du rotor facilite le démarrage et permet d'obtenir un fonctionnement régulier.

Le deuxième est constitué par un moteur synchrone à démarrage automatique. Certains comportent un champ fixe qui est produit par une bobine unique.

Deux pôles encerclent un mince cylindre de cuivre à l'intérieur duquel tournent un ou plusieurs rotors en acier à aimantation permanente, très légers; les pôles inducteurs sont fendus et des bobines recouvertes servent à produire la rotation du champ inducteur.

L'inconvénient de ce type de moteur est de nécessiter une démultiplication considérable, étant donné leur vitesse de rotation, qui est de 50 t.-s. On a donc été obligé de prévoir un train d'engrenage enfermé dans un carter en laiton et baignant dans l'huile.

Un autre type de moteur est réalisé de la façon suivante (fig. 23) :

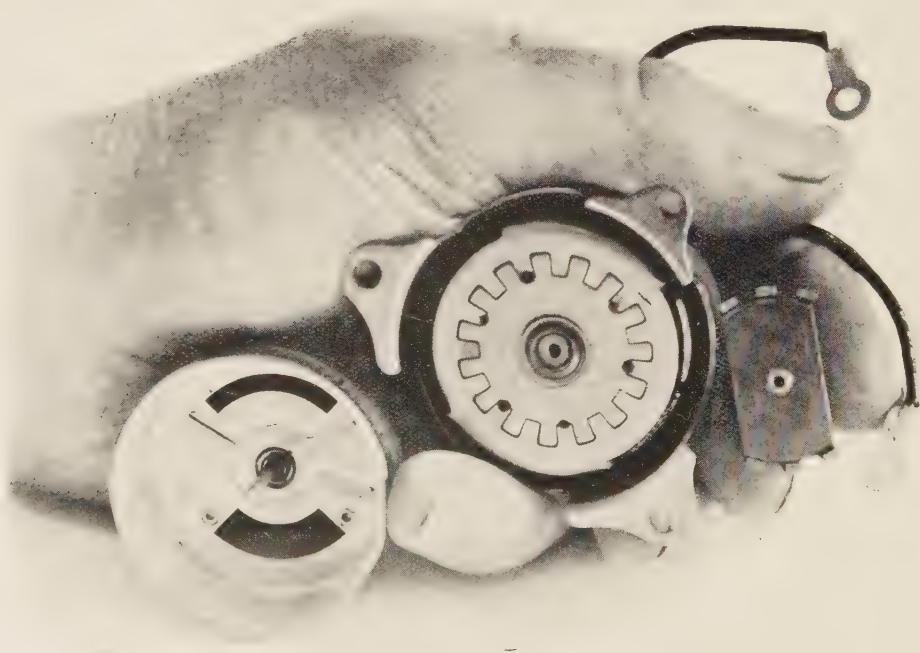


Fig. 23
Moteur du type employé pour la commande du mécanisme
de l'horloge de la Tour Eiffel.

Le moteur synchrone est constitué par un aimant permanent et une série de pôles inducteurs; le moteur qui sert au démarrage automatique est un moteur d'induction, constitué par une cloche en aluminium montée sur un axe. Cette cloche recouvre les pôles d'un moteur synchrone et porte sur sa surface extérieure un cylindre magnétique destiné à fermer le flux issu des pôles.

Un toc assure la liaison entre le rotor asynchrone et le rotor synchrone.

Le moteur synchrone est composé de 15 paires de pôles; sur un courant 50 périodes, il tourne donc à une vitesse de 200 t.-m.

Son couple sur l'axe est de l'ordre de 2 gr.-cm.

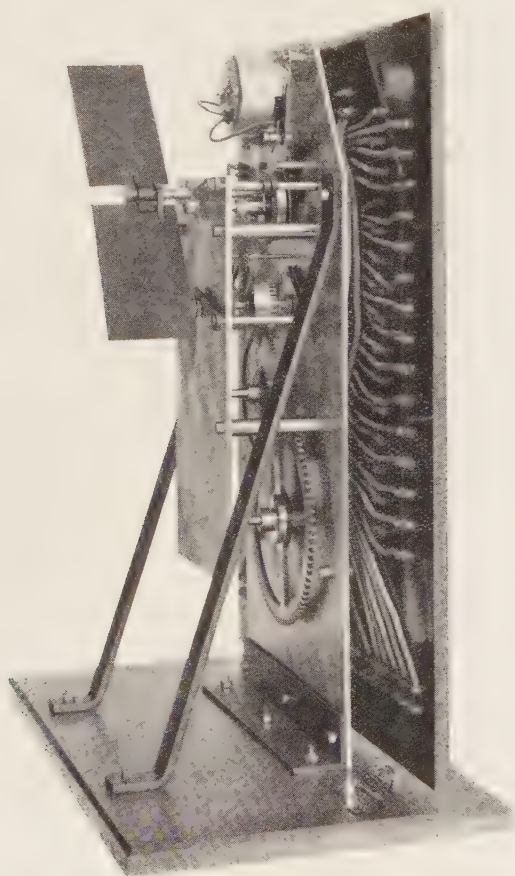


Fig. 24

Premier mécanisme de commande pour l'horloge de la Tour Eiffel.

Sa consommation n'est pas supérieure à 2 watts-heure.

Ce type de moteur ne nécessitant qu'une démultiplication relativement faible, l'usure des rouages se trouve donc réduite.

On a pu appliquer ce type de moteur synchrone au dispositif chronométrique assurant la fermeture des circuits de la nouvelle horloge lumineuse de la Tour Eiffel (fig. 24 et 25) (*).

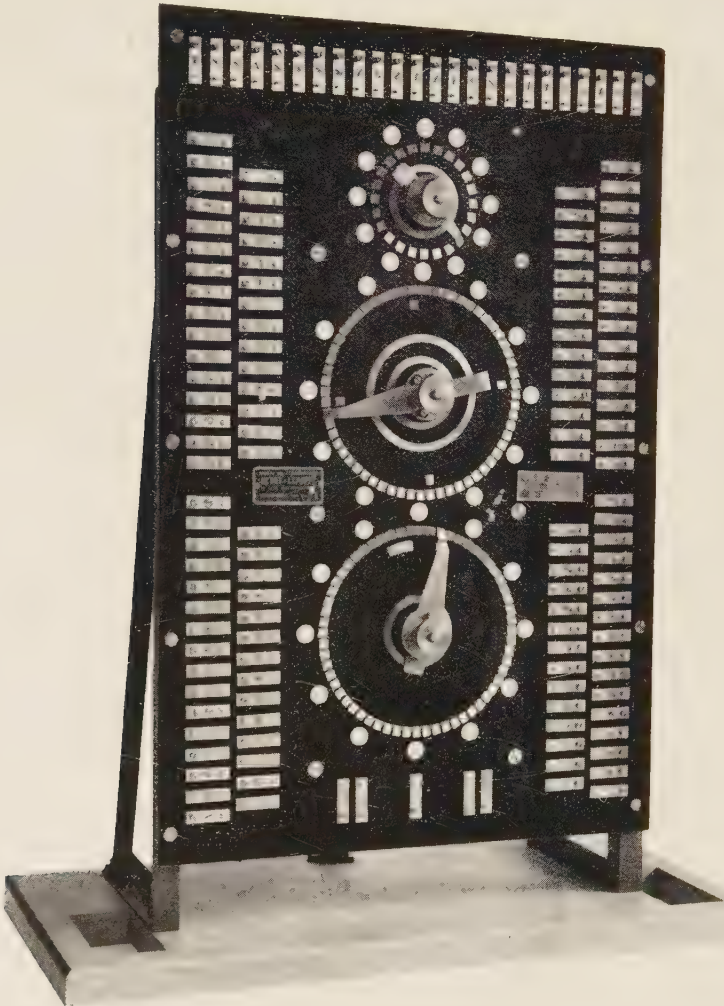


Fig. 25

Deuxième mécanisme de commande pour l'horloge de la Tour Eiffel donnant les émissions de secondes.

(*) Voir bibliographie, n° 26.

Indiquons brièvement comment a été conçu et réalisé ce mécanisme nouveau (fig. 24 et 25).

Cette horloge comporte deux cadrans de 20 mètres de diamètre qui sont placés l'un sur la face nord-ouest, l'autre sur la face nord-est de la Tour; ils sont composés de deux séries de rayons: la première série comporte 60 rayons (9 m. 80) de 15 lampes (rouges) de 40 watts chacune (correspondant aux minutes); la deuxième série comporte 24 rayons de 6 mètres de long, de 11 lampes (solaires) de 40 watts chacune (correspondant aux heures).

Les points de minutes situés sur la périphérie du cadran comportent 48 lampes de 60 watts; les points des quarts d'heure comportent des lampes de 1.000 watts.

Il a été nécessaire pour équiper chaque cadran de prévoir 25 kms de câble.

La commutation des heures s'effectue aux minutes 15 et 45.

La réalisation des cadrans étant faite il fallait prévoir un dispositif chronométrique assurant la fermeture des circuits avec une très grande précision.

Nous avons donc envisagé l'emploi d'un moteur synchrone, et la première idée fut de commander directement les balais de commutation par le moteur, mais on reconnut rapidement les inconvénients de ce procédé:

Inconvénient du passage d'un plot à l'autre, qui risquait d'allumer deux rayons lumineux en même temps, et de créer des amorçages d'étincelles, d'où la nécessité de prévoir l'intermédiaire d'un mouvement mécanique composé d'un système appelé en horlogerie détente à délai.

Le moteur synchrone commande donc le remontage de deux barillets; l'un, qui actionne le commutateur, correspond à l'allumage des minutes; l'autre, le commutateur, correspond à l'allumage des heures.

Ces commutateurs ne commandent pas directement l'allumage des lampes, mais actionnent des relais. Toute la précision du mécanisme dépend finalement de la régularité de la vitesse du moteur de commande.

Un autre système de moteur régulier, basé sur la transformation d'un mouvement harmonique en un mouvement circulaire uniforme, a été imaginé par M. A. GUILLET (*).

(*) Voir bibliographie n° 27.

L'électro-diapason de cet appareil, qui normalement est entretenu par un contact spécial à charbon d'une très longue durée, a été supprimé par M. GUILLET, dans certains modèles; alors, l'entretien est assuré par le secteur, quand on prend la précaution d'accorder la fréquence du diapason sur celle du courant distribué, ou mieux sur un harmonique, pour atténuer les effets d'une faible variation de fréquence toujours possibles.

Le moteur fonctionne, dans ces conditions, comme un moteur synchrone à fréquence stabilisée par l'intervention du diapason moteur.

Tous les dispositifs d'horlogerie commandés par moteurs synchrones nécessitent une remise à l'heure manuelle à la suite d'interruptions de courant.

L'emploi de ces moteurs peut se généraliser dans les grands centres, où la fréquence est contrôlée entre d'étroites limites, et où les interruptions de courant sont de plus en plus rares. Les moteurs synchrones pourraient également être employés à bord des navires et permettre une variation progressive de l'heure en fonction du lieu.

Une solution plus parfaite consiste à compléter ces appareils par un mouvement mécanique servant de réserve de marche en cas d'interruption de courant.

Plusieurs solutions ont été proposées dans ce domaine (*).

Mais tous ces dispositifs présentent une certaine complication; ils nécessitent, en outre, la mise en route d'un mouvement spécial, avec démarrage d'un échappement, au moment de la coupure de courant.

(*) Voir bibliographie, n° 28.

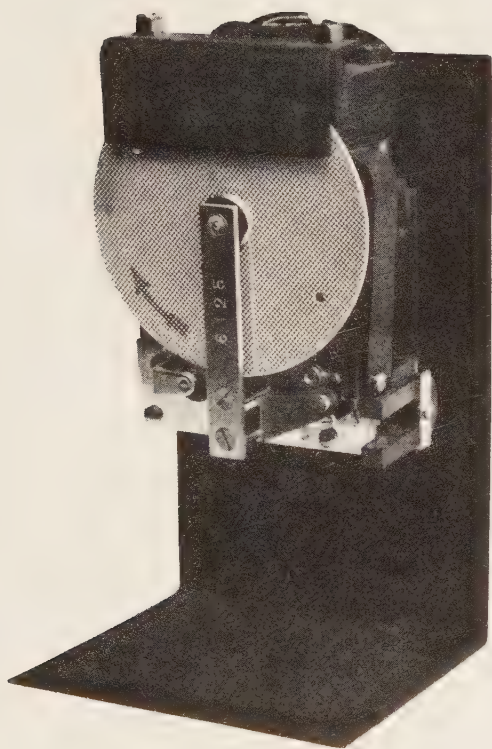


Fig. 26

Mouvement d'horlogerie à échappement synchronisé.

CHAPITRE V

PSEUDO-SYNCHRONISATION DES BALANCIERS CIRCULAIRES DES CHRONOMETRES

Ayant examiné les diverses solutions proposées jusqu'à ce jour, nous sommes arrivés, avec M. SALMON-LEGAGNEUR (*), à la conclusion qu'un mouvement mécanique à remontage électrique et réserve de marche du type décrit au début de ce travail, qui serait directement synchronisé par le courant du réseau, offrirait le double avantage du mouvement à moteur synchrone et du mouvement à réserve de marche (fig. 26), sans entraîner la complication ni les inconvénients de l'adjonction d'un deuxième mouvement.

Nous avons songé à la pseudo-synchronisation directe des balanciers circulaires des mouvements d'horlogerie, en partant de la fréquence du réseau.

Dans son célèbre mémoire présenté à la Société Française des Electriciens en 1894, A. CORNU a étudié cette question. En ce qui concerne les balanciers d'horloges, voici comment il s'exprime à ce sujet :

« Synchronisation par une impulsion de période multiple de celle du balancier. »

« Le même dispositif peut servir à entretenir synchroniquement l'oscillation d'un balancier de période propre autre que celle du courant impulsif. J'ai réalisé l'expérience avec un balancier pesant 27 kgs, battant les $5/4$ de seconde (comme celui de l'horloge de la Bourse de Paris, construite par la maison HENRY-LEPAUTE, qui m'a obligeamment prêté ce balancier); un barreau aimanté d'environ 0 m. 25 de longueur, et pesant 250 grs, a été fixé transversalement au-dessous de la lentille; il s'engageait d'un côté dans l'axe d'un solénoïde, de l'autre dans un tube de cuivre de 3 mm. d'épaisseur et de 0 m. 08 de

(*) Voir bibliographie, n° 29.

longueur. Un courant de 8 à 10 milliampères. agissant pendant $\frac{2}{3}$ de seconde, envoyé toutes les $\frac{1}{2}$ minutes par une double came électrique fixée sur la roue d'échappement de l'horloge directrice, suffisait pour mettre en oscillation le balancier, partant du repos, et à le maintenir à l'amplitude de $\pm 0^{\circ}50'$. La période avait été réglée approximativement par enregistrement sur un chronographe; le réglage à une fraction de seconde par heure est parfaitement suffisant. Le rapport de la période synchronisante à la période synchronisée était donc de 30 à $\frac{5}{2}$ ou de 12 à 1. L'expérience a si bien réussi que je n'hésiterais pas à conseiller l'emploi de rapports beaucoup plus élevés, par exemple de 30 à 1, mais il faudrait augmenter l'amortissement et la force synchronisante si l'on craignait des inégalités accidentelles dans la marche des appareils à synchroniser, ou dans l'intensité du courant.

« La méthode de contrôle indiquée précédemment dans la description du réglage apériodique permettrait de surveiller, en marche, la régularité du synchronisme des appareils par la mesure de l'amplitude et de la phase: l'enregistrement électrique serait tout indiqué pour le contrôle (*).

« Il est inutile d'insister sur les applications qu'on pourrait faire de ce mode général de liaison synchronique à des appareils très différents de ceux de l'horlogerie. »

M. A. CORNU ne paraît pas avoir étudié expérimentalement le cas où l'action synchronisante a une fréquence multiple de celle du mobile à synchroniser.

C'est cependant le cas qui se présente à nous, puisqu'il s'agit de synchroniser les balanciers circulaires ayant une fréquence $n = 2.5$ par un courant alternatif ayant une fréquence $N = 50$.

Diverses solutions ont été proposées, dans le cas de balancier pendulaire (**).

Mais il est à remarquer que les divers essais tentés sur les balanciers circulaires (échappement des chronomètres) ne paraissent pas, jusqu'à ce jour, avoir donné de résultats pratiques (**).

Décrivons d'abord le dispositif que nous avons réalisé:

Sur les figures ci-jointes, 11 est la bobine du moteur de remontage, alimentée par le courant du secteur; 12 est le cir-

(*) Voir bibliographie, n° 30.

(**) Voir bibliographie, n° 31.

(***) Voir bibliographie, n° 32.

cuit magnétique et 15 le disque de ce moteur; 13 et 14 sont des pièces en fer doux feuilletées, reliées chacune par l'une de leurs extrémités aux deux pôles du circuit magnétique 12, de façon à provoquer la fuite magnétique destinée à la synchronisation. Une pièce 17, en fer doux, est fixée à l'autre extrémité de la pièce 13 et porte une vis 18 qui se trouve en face de la pièce en fer doux 21, fixée sur le balancier 16, lorsque ce dernier est dans sa position d'équilibre. La pièce 19, en fer doux, est fixée à l'autre extrémité de la pièce 14 et porte une vis 20 qui se trouve en face de la pièce de fer doux 21, fixée sur le balancier 16, lorsque ce dernier est dans sa position d'équilibre et se trouve par conséquent en regard de la vis 18. Les vis 18 et 20 se trouvent donc polarisées par la fuite magnétique provoquée sur le moteur de remontage.

22 est un aimant à grande force coercitive (acier au cobalt, par exemple); il est fixé sur le mouvement par une targette 23, qui permet de régler sa position par rapport à la pièce de fer doux 17. La pièce de fer doux 21 portée par le balancier se trouve donc aimantée indirectement par l'aimant 22, par l'intermédiaire de la pièce 17 et de la vis 18.

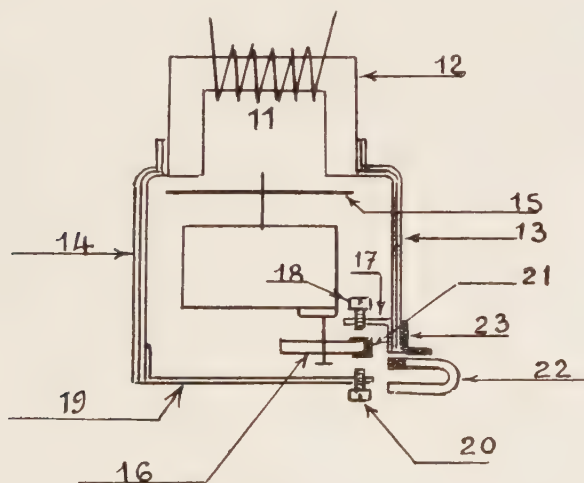


Fig. 26 bis.

La figure 26 *bis* montre la forme que l'on peut donner à la pièce 21. Cette pièce est constituée par un petit morceau de tôle de fer doux rectangulaire de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur, repliée en forme d'U sur la jante du balancier, et disposée de telle sorte que les extrémités des vis 18 et 20

se trouvent respectivement en face des extrémités des branches de l'U.

On voit, d'après les descriptions ci-dessus, que les vis 18 et 20 sont soumises au champ alternatif provoqué par le courant du secteur.

Ces vis servent d'une part à fournir le couple synchronisant, par leur action sur la pièce en fer doux 21, et d'autre part à provoquer l'amortissement nécessaire du balancier par les courants induits dans la jante de ce dernier.

Vérification et contrôle

La première idée qui vient à l'esprit pour vérifier l'action correctrice sur les échappements de balanciers circulaires, dont la fréquence est en relation avec celle d'un secteur de distribution, est de contrôler la concordance de la trotteuse à seconde du mouvement à corriger avec l'aiguille des secondes d'une petite horloge synchrone placée sur le même réseau.

Mais, outre que cette méthode d'observation est longue, dans le cas où le mouvement est bien réglé, il peut s'écouler plusieurs heures avant qu'un décalage appréciable se produise (même si le mouvement ne produit pas d'action correctrice); il est impossible de suivre les conditions mêmes de cette correction et son histoire au cours des variations toujours possibles de la fréquence du réseau.

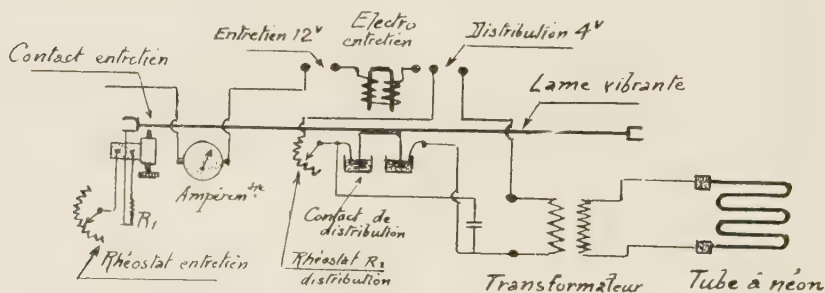


Schéma du stroboscope à corde vibrante et lampe à néon.

Fig. 27

Nous avons donc songé à employer la méthode stroboscopique, et nous avons d'abord utilisé le stroboscope à corde vibrante de M. A. GUILLET (schéma n° 27), que nous avons déjà

étudié en 1924 (*). En vue de son application industrielle, nous y avons adapté une lampe portative à néon, que nous avons pu faire réaliser grâce à la bienveillance de M. Georges CLAUDE, membre de l'Académie des Sciences, qui avait bien voulu, dès 1924, faire établir pour nous, suivant notre demande, des tubes à néon spéciaux.

L'essai réalisé avec le stroboscope à corde vibrante fut le suivant:

Un diapason 100 V. D. entretenu directement par le réseau était éclairé par la lampe à néon du stroboscope, commandant la corde vibrante, dont la fréquence était $N = 5$ (corde surfilée).

On accordait exactement la fréquence à la valeur $\frac{N}{10}$ en immobilisant stroboscopiquement le diapason, puis, ayant fait un repère sur l'échappement du balancier, on constatait ou non son immobilité.

Mais, outre la difficulté d'entretenir une corde vibrante à la fréquence 5, la nécessité de passer par le contrôle du diapason rendait la méthode d'un emploi délicat.

Nous avons donc été amené, par la suite, à déclencher les éclairs de la lampe à néon, directement en partant d'un petit moteur synchrone, tournant à 200 t.-m., avec dispositif réducteur donnant un contact de période $1/5$ de seconde.

Cette méthode a donné d'excellents résultats et a permis d'étudier le fonctionnement de plus de 30 mouvements différents, et de se rendre compte des particularités qui survenaient dans le cas de variations brusques de la fréquence du réseau. Tout dernièrement, nous avons même employé un dispositif avec amplificateur microphonique qui donne également de très bons résultats. Tous ces essais ont été faits en collaboration avec M. Marcel BRÉON.

Au cours de ces nombreux essais, nous avons pu constater sur la courbe d'enregistrement de fréquence moyenne relevée sur le réseau de l'Union d'Electricité de Paris, des variations de fréquence de l'ordre de 5 secondes, qui s'étaient produites dans un intervalle de temps relativement court, de l'ordre de 15 minutes. Au moment de la variation rapide de fréquence, l'action correctrice sur le balancier ne s'effectuait plus et la marche du mouvement correspondait à celle du mouvement sans dispositif de correction, c'est-à-dire à des variations de l'ordre de 1 ou

(*) Voir bibliographie, n° 33.

2 minutes par mois, correspondant à quelques secondes pour les fractions de temps relativement courtes pendant lesquelles l'action correctrice ne s'effectuait plus. Pratiquement, dès que la fréquence devenait normale, la correction s'effectuait à nouveau sans perturber en aucune façon la marche du mouvement.

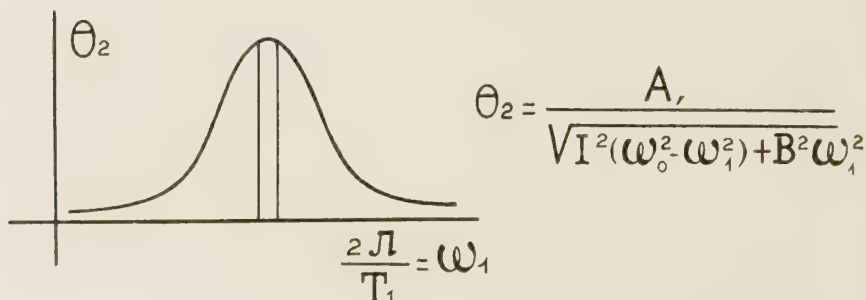
Nous pensons avoir réalisé ainsi une solution satisfaisante du problème de la distribution et de l'unification de l'heure. Si, dans le cas exceptionnel où, après une baisse de fréquence, on est amené à faire fonctionner le réseau à une fréquence supérieure, pour rattraper le retard apporté aux horloges synchrones, ce cas est si rare dans la pratique qu'il est impossible d'en conclure qu'il infirme le système dont le fonctionnement reste sûr dans la grande majorité des cas.

Aperçu théorique

Si, par synchronisation proprement dite, il faut entendre qu'un oscillateur P_1 de période T_1 impose sa période à un autre oscillateur P_2 de période différente T_2 par l'intermédiaire d'une action mécanique A que P_1 applique à P_2 , il ne s'agit pas ici d'une véritable synchronisation. On démontre en effet, dans le cas précédent, que si l'action A , de P_1 , est de forme sinusoïdale, P_2 oscillera au rythme de P_1 et non plus au sien, et cela quel que soit le rapport $\frac{T_1}{T_2}$ des deux périodes;

mais P_2 présentera un retard de phase sur l'action A , et l'amplitude θ de régime dépend du rapport $\frac{T_1}{T_2}$ et varie à peu près suivant une courbe de forme ci-dessous:

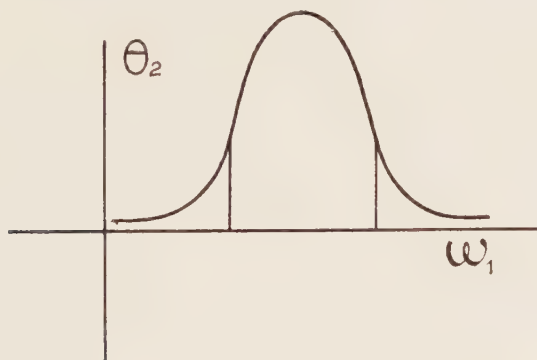
ω_0 , pulsation propre de P_2 , c'est-à-dire $\frac{2\pi}{T_0}$, T_0 étant la période



dans le cas où l'amortissement serait nul. A_1 est l'amplitude de l'action synchronisante sinusoïdale, I le moment d'inertie de l'équipage synchronisé et B un coefficient qui tient à l'amortissement.

θ_2 est maximum pour $\omega_1^2 = \omega_0^2 - \lambda_0^2$

λ étant le coefficient d'amortissement de P_2 et, lorsqu'on s'écarte de cette condition d'un côté ou de l'autre, on voit que l'amplitude de régime va en diminuant et parfois très vite; tout dépend de la façon dont la courbe est étalée.



Quant au retard de phase, il est réglé par la formule:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{B\omega_1}{I(\omega_0^2 - \omega_1^2)}$$

Il deviendrait égal à $\frac{\pi}{2}$ (quadrature) pour:

$$\omega_1 = \omega_0$$

Il est également possible de démontrer que si P_1 agit par impulsions rapides sur P_2 (amorti) au rythme T_1 , quel que soit le rapport $\frac{T_1}{T_2}$, il y a un état de régime possible, mais avec les mêmes particularités que celles que nous venons d'indiquer, c'est-à-dire que l'amplitude de régime est favorisée, si l'on établit entre T_1 et T_2 certaines concordances. M. A. GUILLET a indiqué une solution mathématique de ce problème donnant immédiatement l'état de régime. Il fait suivre son mémoire d'une solution remarquable due à l'illustre savant Paul APPELL (*) et dans laquelle l'effet des impulsions est suivi dans leur continuité.

En résumé, la théorie conduit à la proposition suivante:

(*) Voir bibliographie, n° 34.

Quelles que soient les périodes T_1 , T_2 , de ces deux oscillateurs P_1 P_2 il est possible d'imposer à l'un, P_2 , par exemple la période T_1 de l'autre P_1 en agencant les choes de façon que P_1 applique:

Premier mode: soit une action sinusoïdale continue à P_2 et au rythme T_1 .

Deuxième mode: soit que P_1 agisse par impulsions identiques au rythme T_1 sur P_2 .

Dans les deux cas, en ce qui concerne l'amplitude maintenue, il y a des conditions meilleures que les autres.

Mais il y a d'autres manières d'utiliser une action périodique, par exemple :

A $\sin \frac{2\pi}{50} t$ s'il s'agit du secteur alternatif 50 périodes, cent alternances secondes.

Dans le dispositif que nous avons réalisé, il n'y a pas transposition de la fréquence 50 du secteur au balancier. Nous faisons seulement de la correction de mouvement.

Il serait peut-être possible de faire de l'entretien et de la correction, si le balancier spiral n'était alimenté autrement en énergie.

Raisonnons sur le cas où le balancier porte un petit aimant permanent d'axe normal à son plan.

Si le balancier n'était pas amorti, il oscillerait suivant la loi:

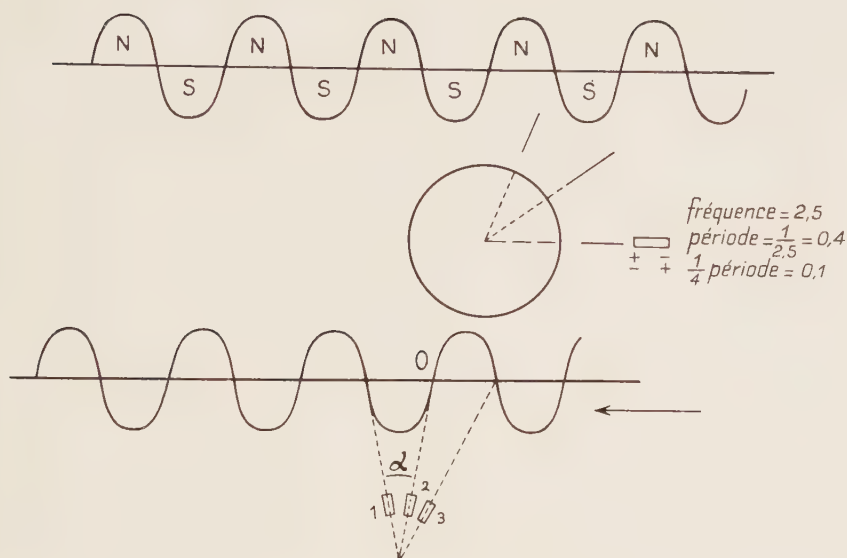
$$(1) \theta = \theta_0 \sin \frac{2\pi}{0,4} t$$

Amorti, il oscille suivant la loi:

$$(2) \theta = a e^{-\lambda t} \sin \frac{2\pi}{0,4} t$$

dans le cas où il est libre.

Pour une amplitude $\theta_0 = 180^\circ$, comme la vitesse angulaire est: $\theta_0' = \theta_0 \frac{2\pi}{0,4}$ au passage par la position d'équilibre, il passe avec une vitesse angulaire qui lui ferait franchir un angle de $180^\circ \frac{2\pi}{0,4}$ soit environ, par alternance, 1/100 de seconde, $28^\circ,26$, si le mouvement conserve sa vitesse. Il reste que le fer doux polarisé franchit rapidement la région active en regard du pôle alternatif qui, en une seconde, est 50 fois positif nord et 50 fois négatif sud.



Supposons que le passage du doigt polarisé devant l'électro se fasse à un instant où le courant alternatif est nul, c'est-à-dire change de sens; alors, à l'alternance précédente, il était en 1 et à l'alternance suivante il sera en 3; si, pour 1, 0 est sud, il y aura attraction, c'est-à-dire action favorable pour le parcours de l'angle α .

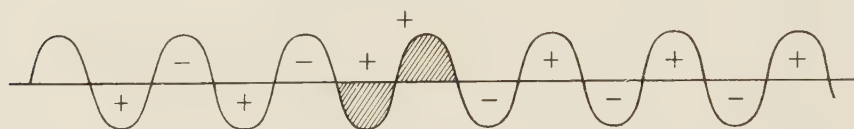
$$\alpha = 180 \frac{2\pi}{0,4} \times \frac{1}{100} \gamma,$$

et comme il y a inversion au passage en 0, l'action continuera à être favorable par répulsion cette fois, pendant l'alternance suivante. Il y aura donc une période active complète au passage par la position de repos.

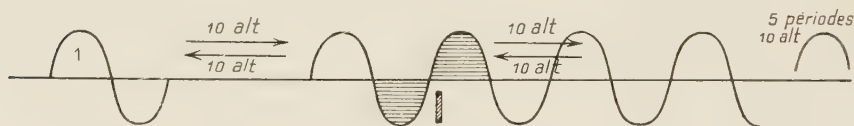
Le balancier va continuer à se mouvoir vers la droite pendant le temps de 0 s. 4, c'est-à-dire pendant 10 alternances, puis revenir pendant les 10 alternances suivantes, etc... (0,1).

L'effet des actions continues sinusoïdales, c'est-à-dire rapidement inversées, ne produisant qu'un effet peu important en comparaison de l'action de la période utile au passage par la position d'équilibre d'abord, à cause de l'accroissement rapide de la distance qui atténue considérablement le champ et aussi de la diminution de vitesse qui totalise sur le doigt polarisé ou

des régions très voisines des effets opposés. Il y aurait lieu d'ailleurs de voir comment les effets répartis le long de la route du doigt polarisé se comportent en détail, à l'aller et au retour. Mais cela est inutile pour saisir que ce dispositif n'est pas un dispositif de « synchronisation » proprement dit, mais de correction, dû au fait que parmi les périodes du courant alternatif, il n'y en a qu'une qui puisse être totalement active; les autres, soit à droite, soit à gauche, ne produisent sur l'aimant polarisé mobile qu'un effet différentiel d'ailleurs de plus en plus faible, puisque le champ s'affaiblit selon une puissance de la distance tenant uniquement aux déplacements du doigt s'effectuant au cours des alternances successives:



Cette alternance centrale oblige, par les avances ou les retards qu'elle occasionne, le doigt à passer toujours au zéro, pour un même état moyen de l'alternance active choisie dans le temps, selon la période propre du balancier.



Dans notre cas, deux alternances consécutives utiles, au centre (position de repos), 9 alternances aller et retour, mais d'effet différentiel et rapproché négligeable.

C'est donc, non pas un effet de synchronisation, mais un effet de correction, le balancier étant soumis à son mouvement propre, et le courant alternatif n'intervient que par une période active sur P_1 , en relation de position avec la période du balancier à corriger.

Les essais prolongés sur le dispositif que nous avons réalisé ont donné des résultats entièrement satisfaisants. Mais il semble bien que si la solution de ce problème a été aussi longtemps retardée, une des raisons principales provient, à notre avis, de l'importance insuffisante donnée à la question de l'amortissement, d'une part, et, d'autre part, au manque de moyens d'investigation, pour vérifier les conditions pratiques de cette synchronisation par correction de mouvement pour des mécanismes

déliçats, étant donné la grande différence des périodes, qui compliquait les possibilités d'observation.

C'est en nous attachant plus spécialement à ces deux questions que nous croyons avoir pu obtenir les résultats satisfaisants auxquels nous sommes arrivé.

Dispositif d'amortissement

Voici quelques détails, en ce qui concerne le dispositif d'amortissement que nous avons réalisé. Dans le montage décrit précédemment, les deux vis 18 et 20 servent, comme nous l'indiquons, d'une part, à fournir le couple synchronisant, et, d'autre part, à provoquer l'amortissement nécessaire du balancier, par le courant induit, dans la jante de ce dernier. Mais cet amortissement, qui est indispensable pour obtenir une synchronisation stable (nous n'avons jamais réussi à synchroniser aucun mouvement en supprimant cet amortissement réglable), doit cesser immédiatement, comme le couple synchronisant, dès que le courant du secteur est coupé, de façon à ce que l'échappement fonctionne, à partir de cet instant, comme un échappement ordinaire.

C'est bien là un des points fondamentaux pour le fonctionnement de tels dispositifs, et qui semble ne pas avoir été suffisamment compris de ceux qui avaient déjà étudié des dispositifs analogues.

Dans tous les dispositifs qui n'ont pas cet amortissement spécial, indépendant et réglable, l'amortissement mécanique qui existe fatalement dans un échappement mécanique ordinaire reste le même au moment où le courant de synchronisation existe et lorsqu'il disparaît, et, comme disait WOLF dans sa célèbre discussion avec CORNU à ce sujet, « dans ces conditions, si vous ajoutez systématiquement de l'amortissement, vous risquez que l'horloge s'arrête, si, pour une raison quelconque, le système synchronisant cessait de fonctionner ».

Nous avons voulu, en terminant ce travail, indiquer le rôle prépondérant que joue cet amortissement dans la question importante de pseudo-synchronisation des balanciers circulaires par une force synchronisante de fréquence multiple de celle des balanciers.

CONCLUSION

Le but de ce travail a été, d'une part, de montrer l'intérêt technique et industriel que l'on pouvait trouver, à utiliser les réseaux de distribution d'énergie électrique, pour résoudre les problèmes de chronométrie, au même titre qu'ils sont déjà utilisés, pour l'éclairage, le chauffage ou la force motrice.

Nous avons, à cet effet, étudié et réalisé, pour la première fois, croyons-nous, en France, un type d'appareil fonctionnant sur les réseaux de distribution et possédant, en outre, une réserve de marche mécanique en cas d'interruption du courant d'alimentation.

Nous avons ensuite montré comment ces réseaux de distribution pouvaient être utilisés pour la correction automatique des erreurs indiquées par les divers appareils qui y puisent déjà leur source d'énergie. Nous avons indiqué, dans ce domaine, plusieurs solutions dont certaines sont déjà entrées dans la pratique industrielle.

Partant ensuite des nouvelles propriétés que possèdent les courants de certains réseaux, grâce à l'utilisation d'appareils de contrôle, dont nous avons poursuivi également l'étude, nous nous sommes particulièrement attachés à la solution de la régulation de marche des échappements des chronomètres, par le courant des secteurs à fréquence contrôlée, solution qui continue à nous préoccuper tout spécialement, car elle permet d'aboutir à une distribution particulièrement simple d'une heure unique.

Mais ces nouvelles solutions, si pratiques et si simples qu'elles soient, ne sont pas, toutefois, sans faire regretter les travaux de précision et d'art, dont la chronométrie française avait pu se montrer justement fière.

Nous constatons, néanmoins, que de nouveaux problèmes se posent, aux esprits épris de perfection, mais c'est aux électriciens que désormais incombe cette tâche.

Respectueux des traditions de ma famille, mes efforts seront récompensés si, par cette étude, j'ai pu, pour une part aussi modeste soit-elle, apporter ma contribution au progrès que les « LE PAUTE » n'ont pas cessé de poursuivre depuis 1740, dans le domaine de la chronométrie.

Alexandre BERTRAND
Ingénieur E. S. E.

BIBLIOGRAPHIE

- N° 1. — Voir articles de DECAUX dans *Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones*, janvier 1932.
- N° 2. — A. BERTRAND, *Entretien Electrique des Vibrations*, Congrès Int. d'Electriciens 1932.
- N° 3. — LIPPMANN, *Sur entretien des mouvements pendulaires sans perturbation* (C. R. t. XXXVII, page 15).
A. GUILLET, C. R. 11 juillet 1898.
FÉRY, brevet français 313.144 du 1^{er} août 1901.
- N° 4. — LAVET, *Annales Françaises de Chronométrie*, n° 4, 4^e trimestre 1932.
- N° 7. — Brevet n° 706.224 du 14 février 1930. Conférence de M. Alexandre BERTRAND à l'Union Corporative Horlogère, le 23 février 1932. Extrait des *Annales Françaises de Chronométrie*, n° 4, 4^e trimestre 1932.
- N° 8. — BRÉGUET, MILDE, CALAUD, RIEFLER, LEROY, NORMAL-ZEIT, FAVARGER, COHEN, WAGNER, David PERRET, Ferdinand SCHNEIDER, BOHMEYER, CHATEAU, UNGERER.
- N° 9. — Expérience d'ELIHU-TOMSON de Lynn (Etat de Massachusetts), réalisée à l'Institut de Washington en 1884.
- N° 10. — Brevet Emile BATAULT N° 405.356 du 23 juillet 1909.
- N° 11. — GOSSELIN-MILDÉ, *Horloge à sonnerie fonctionnant sur les secteurs de distribution d'électricité*; brevet provisoire n° 263.410 demandé le 9-10-1928.
- N° 12. — Voir *Cours Mesures Electriques* M. CHAUMAT à l'Ecole Supérieure d'Electricité (promotion 1920-21), pages 550 à 556.
- N° 13. — DU MONCEL, *Application de l'Electricité*, tome IV.
FAVARGER, *L'Electricité et ses applications à la Chronométrie*, 1924.
CHAUVEAU, R. G. E. 31 décembre 1921 et 10 décembre 1927.
Marius LAVET, R. G. E. 25 février 1928.
- N° 14. — Brevet BRILLIE du 17 novembre 1930.
- N° 15. — Marius LAVET, R. G. E. 25 février 1928.
Alexandre BERTRAND, R. G. E. du 9 juin 1928.
- N° 16. — Robert MORIZOT. Conférence de Liège à l'Association des Ingénieurs de l'Institut de Montefiore, 1933. Société des Ingénieurs Civils de France, 1933.
- N° 17. — R. G. E. du 18 mai 1918. *Emissions de signaux par les Centrales électriques, leur réception chez l'Abonné*, par Pierre TRICHARD.
- N° 18. — *Westinghouse resonant controle for street lights circular 1757* A. DUREPAIRE et PERLAT, R. G. E. octobre 1928.

- N° 19. — Société des Ingénieurs Civils de France, *Bulletin* de novembre-décembre 1932, « L'Eclairage des Voies Publiques », par BOUTTEVILLE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées; *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, février 1930, « Situation de l'Eclairage Public par l'Electricité en France, et Développement pendant l'année 1928 », par M. E.-H. LESOUPLE; « Transmission de signaux et manœuvres à distance sur les lignes électriques de transport et de distribution », par M. CHIROL, *Congrès International d'Electricité de Paris*, 1932, 12^e section, rapport n° 15.
- N° 20. — Article de M. BRIEU, Télévision du *Congrès International d'Electricité*, Paris, 1932, « Entretien Electrique des Vibrations ».
- N° 21. — Description, *Bulletin C. P. D. E.*, avril 1930. R. G. E. 14 novembre 1931.
- N° 22. — Relais de la Compagnie des Compteurs.
- N° 23. — *Revue Générale d'Electricité*, 1928.
- N° 24. — Système LEEDS et NORTHRUP; Système WESTINGHOUSE. Voir rapport M. BARRERRE N° 70. *Conférence Internationale des Grands Réseaux*, juin 1933.
- N° 25. — Voir *C. R. A. S.*, 20 novembre 1933.
- N° 26. — Conférence de M. Alexandre BERTRAND à l'Assemblée Générale de la Société de Chronométrie, novembre 1933.
- N° 27. — A. BERTRAND, Congrès National de Chronométrie, 1923, *Présentation d'un moteur chronométrique à mouvement uniforme et continu*.
- N° 28. — WARREN (voir brevet demandé le 8 juin 1918).
Arthur-G. POOL (voir brevet américain du 13 janvier 1920).
Société des Ateliers BRILLIE Frères (voir brevet n° 729.948 du 27 mars 1931).
- N° 29. — Note à l'Académie des Sciences du 4 juillet 1932 (SALMON-LEGAGNEUR-BERTRAND-LEPAUTE).
Rapport n° Congrès International d'Electricité, Paris, 1932 (Alexandre BERTRAND-LEPAUTE).
- N° 30. — Voir pour la mesure de la phase *Compte rendu à l'Académie des Sciences*, t. CVI, page 100, et *Journal de Physique*, 2^e série, L. VIII, page 105.
- N° 31. — FAVARGER, *L'Electricité et ses applications à la Chronométrie*, 1924, page 396.
Brevets HATOT N° 583.331 du 26-9-23 et sa première addition N° 29.012 du 28-12-33 (N° 617.317 du 28-10-25).
- N° 32. — SIEMENS, 1930, brevet allemand.
- N° 33. — Articles d'Alexandre BERTRAND, *Revue Générale de l'Electricité*, mai 1924.
Omnia, juillet 1924.
La Machine Moderne, mai 1925.
Le Génie Civil, 21 mai 1925.
La Technique Moderne, 15 janvier 1926.
Conférence Société des Contremaîtres, mars 1926.
Société des Ingénieurs Civils, 1926.
Société Française des Electriciens, avril 1926.
Revue Générale de l'Electricité, 22 mai 1926.
Société d'Encouragement, 24 mai 1928.
- N° 34. — *Journal de Physique*, août 1907.

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

*Applications de l'étude générale
des mouvements oscillatoires amortis.*

Vu et approuvé :

Paris, le 18 Avril 1934.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

Ch. MAURAIN.

Vu et
permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris.

S. CHARLÉTY.

PAUL KAAN, Éditeur
72, Rue Claude-Bernard, Paris

PAUL KAN, Éditeur
72, Rue Claude-Bernard, Paris